

RENE BRAQUE

# LA FORÊT ET SES PROBLÈMES DANS LE SUD DU BASSIN PARISIEN

(Berry-Nivernais)

Étude de Géographie physique

---

TOME I

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND II

— LE 2 JUIN 1978 —

ATELIER NATIONAL  
REPRODUCTION DES THESES  
UNIVERSITE LILLE III  
LILLE

- 1982 -

DIFFUSION  
P.U.V.  
UNIVERSITE PARIS VIII  
VINCENNES - SAINT DENIS



#### COMPOSITION DU JURY

- M. P. ESTIENNE, *Président, Université de Clermont-Ferrand II*  
M. M. DERRUAU, *Rapporteur, Université de Clermont-Ferrand II*  
M. J.M. GEHU, *Université de Lille II*  
M. J.E. LOISEAU, *Université de Clermont-Ferrand II*  
M. A. HUETZ DE LEMPS, *Université de Bordeaux III.*





Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41546615\\_0006](https://archive.org/details/IA41546615_0006)



RENE BRAQUE

# LA FORÊT ET SES PROBLÈMES DANS LE SUD DU BASSIN PARISIEN

(Berry-Nivernais)

Étude de Géographie physique

---

TOME I

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND II

— LE 2 JUIN 1978 —

ATELIER NATIONAL  
REPRODUCTION DES THESES  
UNIVERSITE LILLE III  
LILLE

- 1982 -

DIFFUSION  
P.U.V.  
UNIVERSITE PARIS VIII  
VINCENNES - SAINT DENIS

© René BRAQUE

I.S.B.N. : 2 - 7295 - 0003 - 0

# PLAN DE L'OUVRAGE

## Introduction

### Livre Premier : UNITE ET DIVERSITE CLIMATIQUES

#### Chapitre 1 - Le cadre climatique régional

##### I - Dans la province ligérienne

##### II - Eléments de diversité

#### Chapitre 2 - Le climat forestier

##### I - Les constantes du climat forestier

##### II - Les deux saisons de la forêt

#### Conclusion du Livre Premier

### Livre Deuxième : PAYSAGES FORESTIERS

#### DU BASSIN PARISIEN MERIDIONAL

#### Première partie: PORTRAITS DE FORETS

#### Chapitre 1 - Enseignements et problèmes des buttes boisées

#### Chapitre 2 - Enseignements et problèmes

##### des grands massifs forestiers

#### Deuxième partie: PERSPECTIVES CHOROLOGIQUES

##### ET ECOLOGIQUES REGIONALES

#### Chapitre 1 - La trame chorologique régionale

#### Chapitre 2 - Sur les données écologiques

#### Troisième partie: TYPOLOGIE ET SYSTEMATIQUE

##### DES GROUPEMENTS SYLVATIQUES, DU BASSIN PARISIEN MERIDIONAL

#### Chapitre 1 - Observations méthodologiques

#### Chapitre 2 - Les forêts hygrophiles

#### Chapitre 3 - Forêts basophiles et forêts baso-thermophiles

#### Chapitre 4 - Forêts neutroclines, acidoclines, acidophiles

##### I - Chênaies acidoclines-acidophiles sur sols hydromorphes

##### II - Charmaies neutroclines et acidoclines

##### III - Chênaies-hêtraies acidoclines et acidophiles

#### Conclusion générale



## I N T R O D U C T I O N

Les marges méridionales du Bassin Parisien s'inscrivent dans le large croissant forestier qui s'étend de la Lorraine au Poitou. Vers le Nord-Est, les vastes surfaces boisées de la Basse-Bourgogne prolongent sans solution de continuité le paysage végétal nivernais. Vers l'Ouest, la couverture forestière, moins cohérente, parfois réduite à un saupoudrage de boqueteaux épars, s'allonge en direction de la Brenne.

### LE CHAMP DES RECHERCHES ET LEUR ORIENTATION.

Il n'est pas de coupure qui s'impose comme une évidence pour circonscrire dans cet ensemble un périmètre d'étude. La relative uniformité physionomique de la forêt de feuillus, avec des nuances qui s'imbriquent et se répètent, ajoute encore à la difficulté de déterminer sur des critères biogéographiques les limites du champ de recherches. Celui-ci a été centré sur le Berry et le



## INTRODUCTION

Nivernais , après qu'une première prospection du terrain fut venue confirmer les renseignements fournis par la bibliographie disponible.

Bien que la région soit comprise dans l'ample synthèse de Ph. Duchaufour (1948) sur la chénaie atlantique , l'information est de nature essentiellement chorologique, L'ouvrage fondamental de A. Boreau (1849) couvre l'intégralité de la région , en la débordant largement . Il est complété par des travaux intéressants des portions inégales du domaine étudié : Flores de l'Allier (Migout A., 1890; -Lassimone S.E., 1932), du Berry (Le Grand A., 1894), de l'Yonne (Ravin E., 1883) , de Bourgogne (Poinsot H., 1972). Mais, malgré la qualité des prospections locales , dont le modèle a été donné par F. Gagnepain (1900 a) , le Nivernais reste un territoire dont la connaissance demeure fragmentaire.

En dépit des inégalités dans la densité de l'information , la simple consultation de ces ouvrages permet de prendre conscience de la complexité floristique de la partie méridionale du Bassin de Paris , et d'emblée met l'accent sur le problème des interférences de flores , dans un cadre dont l'appartenance au domaine atlantique ou au domaine médio-européen devient dès lors un thème de réflexion essentiel.

Certes , le concept d' "élément floral" (1) , compris comme un ensemble de taxons dont les aires de distribution sont en concordance n'est pas exempt d'ambiguïté ; les auteurs ne précisent

---

(1) - le terme " élément floral" , attribué à Christ, a fait l'objet de critiques; d'autres auteurs ont proposé de le remplacer par des expressions qui, à l'usage, sont devenues synonymes : élément floristique , élément phytogéographique, cortège floristique.

## LE CHAMP DES RECHERCHES ET LEUR ORIENTATION

pas tous s'ils donnent à l'expression un sens strictement chorologique (1), assorti ou non de considérations écologiques (2), ou un sens historico-génétique (3), ou les deux sens à la fois: au niveau de l'espèce, une "méditerranéenne" peut être ainsi, soit une plante localisée dans les régions circumvoisines de la Méditerranée, soit une plante d'origine méditerranéenne assurée ou supposée et ayant acquis une extension plus grande. L'incertitude se retrouve au regard de l'élément floral, dont la composition comporte des variations, et dont les limites n'évitent pas un halo d'ignorance.

Il ne serait pas bon non plus de méconnaître les doutes ou les suspicions qui pèsent parfois sur les renseignements de nature chorologique, à cause des discussions sur les notions de station et de localité, par suite de références à des divisions administratives sans valeur géographique, et dans certains cas des synonymies et homonymies embrouillées accumulées par tel ou tel taxon, le genre *Dryopteris* en fournissant un bon exemple.

Enfin, la connaissance des micromorphes (4) est loin d'être

---

(1) - Dupont P., 1962: "Le terme d'élément sert à désigner une partie de la flore totale possédant une répartition géographique donnée" (p. 25).

- Vanden Berghen C., 1963: un groupe phytogéographique est un "ensemble d'espèces, et de *taxa* subordonnés à l'espèce, dont les aires de distribution actuelles sont plus ou moins superposées. Toute hypothèse quant à l'origine des espèces est exclue de cette définition" (p. 241).

(2) - Roisin P., 1969: "Les espèces qui occupent, comme membres d'un même élément, des aires géographiques semblables, s'y trouvent aujourd'hui contenues en raison d'exigences et de tolérances bioclimatiques équivalentes" (p. 64).

(3) - Gaussen H., 1954: La flore d'une région est formée "d'une superposition de flores diverses: c'est la plus importante qui est choisie pour caractériser floristiquement le territoire considéré. On envisage ainsi des "cortèges floristiques" dont les diverses plantes ont eu des destinées analogues (p. 80).

- Gaussen H., 1938 a: "l'élément atlantique comprend un groupe de plantes dont l'origine relativement récente est sur les bords de l'Atlantique (p. 237).

(4) - Guinochet M., 1938.



## INTRODUCTION

complète. Ainsi, le nom *Galium pumilum* Murray désigne tantôt une espèce, tantôt un groupe d'espèces, dont les aires de répartition seraient fort différentes : atlantique, ou ouest-et médio-européenne, ou sud-et médio-européenne-montagnarde, ou franco-ibérique-montagnarde. L'identification des domaines occupés par les taxons infra-linnéens étant encore peu avancée, certains auteurs craignent que l'utilisation des micromorphes pour établir des limites floristiques ne soit génératrice d'erreurs (1).

Ces contingences rendent délicat l'établissement de la liste des espèces d'un élément phytogéographique ; et il est probablement inévitable que le classement porte la marque d'une certaine part de subjectivité. "Telle espèce, qualifiée de subatlantique par un botaniste bavarois, prend des allures d'espèce continentale pour un anglo-saxon" (2). Certes, depuis Braun-Blanquet (1923), Chevalier (1923), Allorge (1924), Troll (1925) ..., le "cortège atlantique" paraît assez bien défini, et fournit donc une base sérieuse à la délimitation du "domaine atlantique". Mais les auteurs introduisent dans leurs listes d'espèces une hiérarchie des affinités océaniques (euatlantiques, subatlantiques, pseudo-atlantiques), qui de l'un à l'autre n'est pas constante. Ainsi se retrouve dans la perspective biogéographique l'alternative de l'acception large ou du sens étroit, qui pèse sur la notion de "climat atlantique", tantôt réservée à une frange littorale, d'ailleurs inégalement réduite, tantôt élargie à l'ensemble des régions où les masses d'air océaniques commandent pour

---

(1) - Roisin P., 1969.

(2) - Delvosalle L., 1964.

## LE CHAMP DES RECHERCHES ET LEUR ORIENTATION

l'essentiel la succession des états du temps. Si "l'on ne saurait fixer de limite précise entre le climat breton et le climat polonais" (1), il va de soi que la végétation enregistre également des degrés décroissants "d'atlantinité", d'autant que la notion de domaine atlantique ne repose pas sur la dominance des espèces atlantiques, mais seulement sur la présence d'un contingent suffisamment fourni de plantes méritant ce qualificatif.

Une relativité analogue s'applique à l'élément médio-européen, à l'élément méditerranéen. Goujon (1932) et Gaussen (1954) notamment ont insisté sur l'ampleur territoriale des transitions floristiques. Il en résulte que le vocable "carrefour biogéographique" perd beaucoup de sa valeur, dans la mesure où il peut être appliqué à de trop nombreuses régions.

Le terme "marge" paraît préférable pour définir la partie méridionale du Bassin de Paris, dont le classement phytogéographique (Fig. 1, p. 9) a donné lieu à de sensibles divergences d'opinion. Pour certains auteurs, elle appartient au domaine médio-européen (2); pour d'autres, elle entre dans un espace atlantique plus ou moins largement entendu (3) : entre Châteauroux et le Morvan se situe l'aire critique qui bascule d'un côté ou de l'autre. Ce sud-est du secteur ligérien reconnu par Flahaut, Guillaume, Goujon, Gaussen... (4) offre donc l'occasion d'étudier

---

(1) - de Martonne Emm., 1934.

(2) - Guillaume A., 1923; - Walter H., 1954.

(3) - Flahaut C., 1901; - Braun-Blanquet J., 1928; - Goujon G., 1932; - Gaussen H., 1938 a; - Dupont P., 1962.

(4) - Flahaut avait identifié un secteur armoricain-ligérien, subdivisé ensuite par Gadeceau.

## INTRODUCTION

la manière dont se fait le passage d'un domaine à l'autre .Goujon, en situant sur le Berry le front de pénétration de la plupart des espèces atlantiques, et en incluant le Nivernais dans une hernie vers le sud-ouest des limites de végétation du Nord-Est, suggère une hypothèse de recherche qui ferait de la partie méridienne du Val de Loire une frontière floristique secondaire,

Cette première analyse permet à la fois de situer les bornes ouest et est du champ d'étude, et d'orienter le travail de terrain vers la meilleure connaissance de la répartition d'un certain nombre de taxons - guides, susceptibles de clarifier la question des interférences de flores.

Que le débat ait porté essentiellement sur le partage des influences atlantiques et médio-européennes risquerait de faire oublier la tonalité montagnarde, discrète et localisée, et surtout les aspects méridionaux que prend en maints endroits la végétation dans le sud du bassin Parisien, et que la seule lecture de la "Flore du Berry" (1), par ses évocations charentaises voire quercynaises, confirme amplement. La solution des problèmes floristiques de l'ensemble Berry-Nivernais ne se réduit pas à la détermination d'un gradient orienté dans le sens des parallèles . Les affinités méditerranéennes, leur appréciation et leur explication, méritent une grande attention . Elles font des "pays froids", Forterre et Puisaye, les confins nord du périmètre d'étude ; mais vers le nord-est, les chemins de la prospection restent ouverts du côté de la Basse-Bourgogne : ils ont été suivis jusqu'au front de la cuesta du Bathonien, parfois au-delà.

---

(1) - Le Grand A., 1894.

## LE CHAMP DES RECHERCHES ET LEUR ORIENTATION

La méthode de l'inventaire chorologique se prête bien à l'étude détaillée de domaines physionomiquement peu différenciés comme le sont les confins méridionaux du Bassin Parisien. Pour riche d'enseignements qu'elle soit, elle a l'inconvénient de dissocier la réalité concrète des groupements végétaux, et ne doit donc constituer qu'une étape de leur étude.

Des forestiers (1) ont donné des indications générales sur les forêts ligériennes. Mais sous l'apparente unité des formations de feuillus qui s'étendent de Châteauroux aux lisières bourguignonnes, et que la vogue récente de l'enrésinement n'a pas encore eu le temps de défigurer, se révèle une diversité structurale que ne saurait rendre une macro-description.

La carte des séries de végétation (2) donne pourtant un aperçu synoptique susceptible d'orienter les recherches. Si comme dans presque toute la France atlantique, la "série du chêne rouvre" (*Quercus petrae* Lieb. = *Q. sessiliflora* Salisb.) est le phylлум principal, l'ensemble Berry-Nivernais se distingue de l'ouest ligérien par l'importance de la "série du charme" (*Carpinus betulus* L.). Une opposition schématique se dessine en outre entre la partie berrichonne de la région, où le pédonculé (*Quercus robur* L. = *Q. pedunculata* Ehrh.) est le plus important, et où la "série du chêne pubescent" (*Q. pubescens* Willd.) occupe des surfaces non négligeables, et le plateau à l'Est de la Loire, où la "série du hêtre" (*Fagus sylvatica* L.) se développe et où le châtaignier est fréquent.

---

(1) - Rol R., 1936; - Rubner K. et Reinhold F., 1953; - Pardé L., M. et J., 1965.

(2) - Atlas de France; - Gaussen H., 1938 b.

## INTRODUCTION

Mais le parcours attentif du terrain montre qu'il n'y a pas régionalement un seul type de forêt de charme, ou de forêt de hêtre, et que le désir de distinguer chênaie et hêtraie engendre bien souvent beaucoup de perplexité. D'une part, les essences font preuve d'une grande tolérance écologique; d'autre part, le caractère largement anthropique des forêts de nos régions est bien connu (1); la signification des strates arborescentes de ces "associations de l'homme" (Max. Sorre) risque dans de nombreux cas d'être singulièrement douteuse, puisque c'est sur elles que s'exercent avec la plus grande efficacité les interventions humaines, conscientes ou non (mode de traitement en taillis ou en futaie, martelages sélectifs, incendies...).

Une analyse plus poussée ne peut se contenter de définir la forêt par l'arbre seul, non par le sous-étage et le tapis herbacé, ou encore de ne tenir compte que de quelques dominantes. Aussi, malgré les réticences persistantes, parfois la défiance, exprimées à l'égard des méthodes et de la finalité de la Phytosociologie, la recherche d'une typologie rigoureuse des forêts et d'une classification objective des groupements, la quête de corrélations aussi précises que possible avec les paramètres du milieu abiotique, ont conduit à adopter cette approche des paysages végétaux dans leur globalité, dont E. Chateau (2) fut un pionnier dans le Charollais voisin, et que Duchaufour (1948) utilisa dans un cadre incluant la région, pour sa description des forêts atlantiques.

---

(1) - Musset R., 1917; - George P., 1936; - Gaussen H., 1954.

(2) - Chateau E., 1912.

## LE CHAMP DES RECHERCHES ET LEUR ORIENTATION

Cette adhésion au concept de "l'association végétale" (1) n'est assortie d'aucune intention polémique. C'est la fréquentation assidue de paysages comportant plus de nuances que de contrastes qui en a montré la nécessité. Toutefois, au départ, le choix n'était pas évident, -il n'était pas fait-, entre la démarche de l'école sigmatiste, qui dans sa logique rigoureuse base la détermination et la hiérarchisation des associations sur le degré de fidélité des espèces, et l'approche écologique des mêmes groupements fondée sur la reconnaissance de "groupes écologiques", dont d'autres botanistes soulignent l'intérêt. Sur ce point, de nouveau, c'est la pratique du terrain et les enseignements qui s'en sont dégagés, qui ont fixé la doctrine.

Ainsi se définit la seconde préoccupation majeure de cette étude : rechercher, dans un cadre dessiné initialement, par nécessité, en fonction de données purement chorologiques, une description méthodique approfondie des milieux forestiers, intégrant naturellement les faits bruts de répartition des espèces. Mais il n'a pas semblé inutile de faire précéder la présentation synthétique des résultats, avec ses classiques tableaux d'unités sociologiques, d'une description monographique, expression directe de la prospection, afin de mieux faire ressortir la complexité des situations que le biogéographe doit interpréter.

---

(1) - Dans la formulation de Braun-Blanquet, qui constitue la référence classique, l'association "est un groupement végétal plus ou moins stable et en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée, dans laquelle des éléments exclusifs ou à peu près (caractéristiques) révèlent par leur présence une écologie particulière et autonome".

L'association ne doit pas être confondue avec le "peuplement", simple réunion fortuite d'espèces qui ne traduit pas un équilibre avec le milieu.



## INTRODUCTION

### *ESQUISSE DU CADRE REGIONAL.*

Dans l'inégale extension des surfaces boisées, il est nécessaire d'accorder une large place aux facteurs humains. L'intérêt des communautés villageoises, celui des grands propriétaires ecclésiastiques ou laïques, ont joué pour protéger ou amoindrir la forêt; celle-ci, après avoir tenu pendant longtemps le rôle de pourvoyeuse en combustible de l'ancienne industrie du fer, a assuré jusqu'à la deuxième guerre mondiale une occupation de complément aux populations rurales; elle demeure aujourd'hui un placement foncier recherché, et un élément important de l'activité économique régionale. Il n'est pas douteux que l'histoire de la forêt s'est également inscrite, de façon durable, dans les aspects physionomiques et dans la structure sociologique. Toutefois, la localisation actuelle et l'étendue des surfaces boisées, comme la diversité des associations, sont tout autant ou davantage l'expression d'une adaptation nuancée aux conditions naturelles.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

### *Un relief compartimenté.*

L'originalité de l' "amont" des Pays de la Loire a été maintes fois soulignée (1). Le propos n'est pas ici de retracer ou de discuter la morphogenèse de la région; mais l'approche biogéographique des paysages conduit à souligner les éléments de la diversité régionale: au-delà des oppositions fondamentales entre Berry et Nivernais, données structurales et modalités de l'érosion ont multiplié les contrastes qui s'expriment dans la marqueterie des "pays" \*.

La surface de la Champagne berrichonne s'incline du Sud-Est au Nord-Ouest. La monotonie répétitive de ses vallonnements doux, empâtés de grèzes, n'est interrompue que par quelques grandes vallées profondément incisées, par de rares éléments de coteaux, et par les insolites buttes de Gron, lourdes d'aspect et cependant imposantes face à la masse du Sancerrois (2). La forêt, massif étendu ou simple boqueteau, se profile partout à l'horizon; les bois sont souvent installés sur des sols calcimorphes ou des rendzines, développés sur les étages jurassiques ou sur les tables de calcaires lacustres ludiens; mais ils prennent surtout de l'importance sur les argiles à cailloutis et sur les éléments de couverture sableuse, telle la forêt de Choeurs-Bommiers dans le "bassin" de Lignières.

---

(1) - Dion R., 1933; - de Martonne E., 1942; - Vatan A., 1947; - Cholley A. et coll., 1956; - Gras J., 1963.

(2) - Vacher A., 1908; - Bomer B., 1952 b; - Gras J., 1963.

\* - carte 206, p. 277

## INTRODUCTION

Au-delà de la Loire , le paysage berrichon se prolonge dans le Donziais.

Au Sud , les surfaces boisées tiennent peu de place dans la dépression périphérique , Boischaut et Val de Germigny (1) ; mais elles retrouvent une grande extension sur les plateaux gréseux qui , sur une largeur croissant d'Ouest en Est , arrivent au contact du socle.

Un style plus calme encore que celui de la Champagne berrichonne règne au Sud de la dition dans la Sologne bourbonnaise (2). Au-dessus du tréfonds chaotique , les sables "mio-pliocènes" réalisent une surface d'une planité remarquable et dont la vocation forestière s'affirme amplement . Les petits massifs cristallins d' "Entre Loire et Allier" (3) ne se dégagent pas topographiquement de cet environnement , et leur végétation est comparable . A l'Ouest de l'Allier , puis de la Loire au nord du confluent , le même paysage se développe dans une longue bande Sud-Nord jusqu'à la hauteur d'Herry.

En opposition avec les mornes horizons de la Champagne et du plat-pays de Dornes , un style heurté prévaut de part et d'autre du "fossé" de la Loire . Du côté berrichon , les orientations méridiennes s'affirment dans le Sud , dans les trois talus entre lesquels vient s'emboîter la dépression périphérique du Massif Central . Au Nord , elles triomphent dans l'alignement des buttes du Sancerrois ; mais elles se manifestent aussi loin vers l'Ouest

---

(1) - Dautry J.M., 1957.

(2) - Grangeon M., Feys R., Greber Ch., 1968.

(3) - André J., 1958.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

dans le tracé à redans du coteau bordier du Forterre. Les hauteurs couronnées par la brèche de l'Orme au Loup ou par l'argile à silex ne sont pas seules à posséder un taux de boisement élevé, lequel marque aussi le palier de calcaires séquanien.

La limite entre Sologne bourbonnaise et Pays nivernais se situe aux environs de Saint-Pierre-le-Moûtier, mais c'est au-delà de la Loire que s'accusent les caractères originaux d'une contrée dont, dès le début du dix-septième siècle, "l'Histoire de Nivernois" (1) soulignait les contrastes : "ledit pays de Nivernois est composé de huit contrées principales" ; la description se situait dans le cadre de la Province : il y a donc lieu d'en distraire le Morvan et une bonne partie du "Territoire d'entre les deux rivières de Loire et d'Allier".

Le plateau nivernais proprement dit développe d'ouest en est ses plans successifs jusqu'au faite de la "Borne des Cinq-Seigneurs" (452m) au sud de Prémery, qui dépasse légèrement le petit massif cristallin de Saint-Saulge : d'étroits couloirs de vallées, d'orientation subméridienne liée au système de failles, fractionnent la surface en collines parallèles, dont les lignes successives, par relais étagés, repoussent loin vers l'est l'horizon (2). La vieille distinction entre "Vaux de Nevers" et "Amognes" reconnaît la moindre ordonnance et les formes plus lourdes de ce dernier pays.

Une topographie karstique, inscrite non dans le calcaire mais dans le manteau d'argiles à chailles qui couvre les éléments de

---

(1) - Coquille G., 1612.

(2) - de Planhol X., 1946 ; - Gras J., 1963.

## INTRODUCTION

plateau, caractérisée par l'abondance de dolines en entonnoir à pentes très adoucies, et par l'existence de mardelles, occupées par des mares ou de petites tourbières à sphaignes (1), passe presque inaperçue sous la forêt (Pl. 2, ph. 4, et Pl. 13, ph. 43-44).

L'extension du nom de Bazois à l'ensemble de la bordure occidentale du Morvan peut sembler abusive, en raison de l'hétérogénéité de ce "fossé" (2). Au centre, de Moulins-Engilbert à Corbigny, quelques collines plus vigoureuses s'élèvent au-dessus d'amples vallonnements. Le "Pays du Lias" n'a pas que des herbages, et une bande boisée, presque continue à l'est, occupe largement l'étage charmouthien. Au sud du parallèle de Moulins-Engilbert, le "Pays de Fours" se résout en lourdes croupes, dont les sols, développés comme dans la Sologne bourbonnaise voisine, sur les sables "mio-pliocènes", sont abandonnés à la forêt. Au nord, la transition à la Terre-Plaine s'opère par une série d'éléments de plateaux subhorizontaux, qui constituent une trouée de cultures entre l'ultime avancée de la forêt bourguignonne (Forêt des Ferrières et annexes, entre la Maison-Dieu et Vézelay), et les lisières de la forêt morvandelle.

Le "long fuseau nord-sud" (3) du modeste massif de Saint-Saulge, et les plateaux gréseux qu'il prolongent sont aussi boisés que le plateau nivernais proprement dit, dont ils sont séparés par un petit "bazois", bon pays agricole connu depuis Guy Coquille sous le nom de "vallées de Montenoison".

---

(1) - Braque R., 1961 a; 1966

(2) - Beaujeu-Garnier J., 1951.

(3) - de Launay L., 1895.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

L'évocation des conditions morphologiques ne les fait pas finalement apparaître comme un facteur fondamental de répartition des surfaces forestières, qui sont davantage fonction des conditions de sol, le fractionnement en petits pays de l'ensemble Berry-Nivernais étant de nature édaphique autant que topographique.

### *Les roches-mères des sols forestiers.*

La gamme des sols à " vocation forestière " est dans le sud du Bassin Parisien particulièrement étendue (1) . La série des roches-mères comprend les matériaux du socle ancien, affleurant en quelques points, les grès du Permien, du Trais, du Lias, les calcaires du Lias, du Jurassique, du Ludien, les alluvions anciennes (2) .

Mais deux groupes de formations ont, plus que les autres, fixé les massifs forestiers étendus: d'une part, les produits d'altération, *in situ* pour l'essentiel, des assises de calcaires impurs du Crétacé (argiles à silex) et du Jurassique (argiles à chailles = éluvium = J), d'autre part les vastes nappes de sables d'épandage de Sologne bourbonnaise, du plateau entre Loire et Vauvise, du "bassin" de Lignières.

---

(1) - Braque R., 1961 b.

(2) - les saulaies de la Loire occupent également les alluvions récentes; mais la prospection de ces forêts très particulières a été exclue de l'étude.



## INTRODUCTION

### LES COUVERTURES ARGILO-SABLEUSES:

Les épandages argilo-sableux (1),auxquels l'évolution pédogénétique donne un aspect toujours sablonneux en surface, ont été source de nombreuses controverses ; le problème de leur âge, celui de leur lieu d'origine, celui de leurs voies de cheminement, celui enfin des conditions de leur dépôt, sont encore imparfaitement élucidés (2) . Si les premiers remblaiements ont pu être rapportés au début du Miocène (Burdigalien,Vindobonien), l'étude des minéraux volcaniques a conduit récemment à envisager des épandages plio-quaternaires (3) . D'autre part,une fraction du matériel,dans l'est de la région (sables du Bourbonnais),serait en provenance non du Massif Central mais du Morvan proche (4).

L'épaisseur des sables argileux est fort irrégulière , de plusieurs dizaines de mètres à quelques décimètres.Dans ce dernier cas,elle n'est pas suffisante pour que le sol forestier s'y inscrive entièrement:il participe alors des caractères propres au matériau sous-jacent,socle cristallin altéré près du Haut-du-May (Dornes), assises sédimentaires secondaires ou tertiaires (Pays de Fours,bassin de Lignières),sidérolithique de transport (bassin de Lignières).

---

(1) - Boulanger C. et Bertera,1850.

(2) - Dollfuss G.F.,1901-02;- Denizot G.,1927;- Jung J.,1946;- Vatan A.,1947; Bomer B.,1952;- Gras J.,1963.

(3) - Clochiatti R. et Tourenq J.,1971;- Tourenq J.,1972.

(4) - Ribault L. et Tourenq J.,1972.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

Le matériel, bariolé de beige et de gris verdâtre, offre des variations de composition rapides, tant dans le plan horizontal que verticalement (1): galets et graviers, sables, argiles très peu à très fortement sableuses. Il paraît affecté de manière générale par une gleïsation profonde diagénétique. Les actions périglaciaires s'y sont inscrites par la formation de fentes en coin, de réseaux polygonaux (2).

En dépit de cette hétérogénéité, et malgré les nuances nombreuses de la gamme des sols hydromorphes, lessivés ou podzoliques, l'expression édaphique des épandages argilo-sableux est susceptible d'une présentation (3) en termes relativement simples. Dans les "mouillères", c'est-à-dire dans de petites dépressions mal drainées, mais aussi en situation de planité et d'horizontalité parfaites, les oscillations d'une nappe perchée intermittente entraînent le développement d'un ou deux niveaux de concrétions ferro-manganiques, à une profondeur assez régulière, 40 à 80 cm, et pouvant constituer un véritable béton (4).

De manière la plus courante, la présence d'un horizon profond riche en argile est à l'origine de la formation d'un pseudo-gley, auquel échappent au mieux les deux décimètres (ou un seul) de surface de l'horizon A, limoneux ou sableux selon les endroits.

---

(1) - Dewolf Y., 1962.

(2) - Horemans P., 1961; - observations personnelles.

(3) - Périgaud S., 1963; - Bornand M., Callot G., Favrot J.C. et Servat E., 1968; - Favrot J.C. et Legros J.P., 1972.

(4) - le phénomène a pu être observé notamment au long de la tranchée creusée pour la pose de l'antenne Aurouer (nord de Moulins)-Nevers du feeder de distribution du gaz de Lacq.

## INTRODUCTION

### ARGILES A SILEX ET ARGILES A CHAILLES.

La controverse continue également à propos de la genèse et de la signification morphologique des argiles à silex (1); mais si démonstrative est l'argumentation de Klein (2), qu'il apparaît bien que la grande masse de cette formation qui couronne le Forterre est d'origine résiduelle.

Cette conviction est encore renforcée par la similitude des observations qui ont pu être réalisées sur les argiles à chailles du Nivernais et du Berry méridional, lesquelles n'ont pas soulevé autant de passion. Le J de l'actuelle édition de la carte géologique, répertorié auparavant "Pliocène", désigné antérieurement encore sous le nom de "Diluvium", est désormais considéré comme le résidu de la décalcification du Jurassique.

Ebray (3), reprenant une idée de Bertera, présentait déjà cette interprétation, et n'hésitait pas de surcroît à considérer l'élaboration des argiles à chailles du Nivernais comme contemporaine de celle des argiles à silex de la région de Vierzon, du Sancerrois, du département de la Vienne. Même si l'on peut penser que le développement de l'éluvium a pu commencer antérieurement, par exemple dans le plan de la surface infra-cénomaniennne, il ne manquait dès lors à l'explication que l'indication des processus d'altération et d'enfouissement sous leurs propres débris des assises calcaires, cariées par la progression d'un karst couvert

---

(1) - Gigout M., 1976.

(2) - Klein C., 1965 a et b, -1975.

(3) - Ebray Th., 1856-57 b.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

qui échappe à l'observation, sauf en de rares points privilégiés comme la carrière proche de Menou, dont le front de taille tranche d'admirables avens fossiles. Situer dans le temps les étapes de l'avancement de l'érosion crypto-karstique sort du cadre de cette étude; mais il est probable que la surface de l'éluvium a été l'objet de réaménagements répétés, longuement poursuivis.

Aussi bien, le karst nivernais est aujourd'hui encore fonctionnel sur une bonne partie du plateau, comme le prouvent, d'une part le développement contemporain de formes de détail: avens en cloche (Pl. 1, photo 3), entonnoirs, dolines, inscrites par soutirage dans l'épaisseur du J (1), et d'autre part le titre hydro-timétrique des sources, correspondant à une exportation de carbonates de l'ordre de 250 à 275 grammes par mètre cube d'eau débité: certes, les dépressions qui s'ouvrent dans le manteau d'argiles à chailles sont la transcription plus ou moins retardée de vides ouverts dans le calcaire sous-jacent, le déphasage rendant compte, lorsqu'il est important, du caractère brutal et intermittent de leur évolution; mais les cavités karstiques profondes ne sont pas seulement un héritage; la corrosion chimique se poursuit, et du même coup l'élaboration de l'éluvium, qui confirme ainsi son caractère de formation hétérochrone.

Naturellement, cette conception refuse pour l'évolution crypto-karstique le rôle d'un type secondaire et marginal de karst, mais en fait un processus essentiel pour toutes les régions de calcaires impurs.

---

(1) - Braque R., 1961 a.

## INTRODUCTION

Il apparaît clairement que le manteau d'argiles à chailles, absent lorsque la surface topographique est placée dans les niveaux supérieurs du Jurassique, à partir du Rauracien, est omniprésent sur les éléments de plateau qui tranchent le Callovien ou l'Oxfordien. La relation est immédiate avec les variations du taux d'insolubles dans les différents étages, soulignée déjà par les premiers géologues ayant étudié la région. Callovien et Oxfordien inférieur contiennent en abondance des lits de "silex", disposés plus ou moins horizontalement, atteignant jusqu'à vingt centimètres d'épaisseur et même davantage dans le banc de la "coine" (1). Rares dans les sédiments immédiatement postérieurs, ces concrétions siliceuses ne se retrouvent, en moindre quantité, qu'à la partie supérieure du Portlandien. Les chailles ne constituent d'ailleurs que la partie immédiatement visible des insolubles du Callovien et de l'Oxfordien, alors que les calcaires du Rauracien ne laissent pas un résidu de 3 % (2).

L'éluvium est un épiderme dont la puissance est difficile à évaluer, car les carrières sont ouvertes en dehors des secteurs où il atteint une grande épaisseur. Ebray lui accordait vingt mètres dans les environs de Donzy. Une autre estimation, un peu antérieure (3), sans précision de lieu, allait jusqu'à plus de trente mètres. Les observations actuellement possibles n'autori-

---

(1) - Ebray Th., 1856-57, - 1858.

(2) - L'analyse de trois bancs de la carrière du Verger, près de Suilly-la-Tour, a fourni 2,05 - 2,70 et 2,40 % d'argiles, silicates et oxydes. - Analyses communiquées par le propriétaire de la carrière.

(3) - Gillot X., 1842.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

sent ni à confirmer ni à infirmer ces chiffres. A Limon, les puits de mine, ouverts jadis pour atteindre les niveaux profonds sidérolithisés (1), traversent les argiles à chailles, en position de versant, sur cinq à huit mètres. Quelques avens en cloche ont été explorés (2) peu après leur ouverture, avant que l'effondrement de la coupole ne diminue l'épaisseur de la tranche observable. Dans le cas du plus profond d'entre eux, celui des Vaulurins, près de Cessy-les-Bois, un calcul très approximatif, à partir du volume de la cavité, donne à penser que le plancher calcaire ne devrait pas se situer localement à plus d'une douzaine de mètres de la surface. On est assez loin des chiffres avancés par les anciens, ce qui ne signifie pas qu'ils doivent être rejetés, encore qu'on puisse se demander s'ils n'ont pas été influencés par des mesures ponctuelles à l'aplomb d'avens.

En fait, l'épaisseur de l'éluvium est fort irrégulière ; non seulement ses poches taraudent le calcaire sous-jacent, mais sa puissance est en chaque endroit fonction du taux local d'insolubles, du volume de l'ablation superficielle, des processus de transport à courte distance qui sont intervenus sur les versants. Sans que cette constatation remette en question l'autochtonie des argiles à chailles, le fluage périphérique du matériau réalise ici un simple nappage des bancs de calcaire dur, fossilise ailleurs les rigoles de ravinement ouvertes dans les marnes tendres, ou encore emballe des paquets de calcaire marneux dans des loupes de solifluxion. Sur les pentes ainsi recouver-

---

(1) - cf. Livre Deuxième, p. 342.

(2) - au nord-ouest de Guérigny, au nord de Prémery, au sud-est de Donzy.

## INTRODUCTION

tes, la dissolution ultérieure dans le substratum entraîne localement la formation de petites poches d'éluvium (Pl. 1 et 2, photos 1 et 2).

Le dispositif général est celui des altérites, épaisses sur les surfaces planes, de puissance progressivement amoindrie sur les versants : les argiles à chailles, réduites à un revêtement pelliculaire de quelques décimètres au fond des vallons, n'atteignent pas le bas des pentes dans les vallées principales ; il en résulte des conséquences édaphiques comparables à celles observées pour les couvertures argilo-sableuses : tantôt l'éluvium est véritablement la roche-mère des sols actuels, tantôt il loge seulement la partie supérieure du profil. Les catenas présentent une grande complexité.

L'unité de l'éluvium est de nature génétique : elle n'entraîne pas l'homogénéité pétrographique. Si le terme d'argiles à chailles peut engendrer une équivoque quant à l'importance de la fraction argileuse, il a le mérite de souligner la dualité du matériau, qui souvent voilé sous quelques décimètres de limon, comporte toujours, en proportions variables, une matrice et un cailloutis (Pl. 3, photos 5 et 6).

La taille des chailles, auxquelles s'incorporent cà et là quelques éléments étrangers au Jurassique (1), va du gravier au bloc de plusieurs décimètres cubes. Si les calottes sphériques à base conchoïdale sont communes, il existe des formes en boule, qui feraient penser à un matériel roulé, si une certaine propor-

---

(1) -Panthier A., 1927.



## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

tion des concrétions en place dans le calcaire ne présentait le même aspect. Les petites chailles sont le plus souvent anguleuses, mais il serait sans doute imprudent de les considérer systématiquement comme provenant de la fragmentation d'éléments grossiers, encore que le phénomène ait jadis été observé sur des déblais provenant de puits de mine, à Saint-Ouen (1). Souvent aussi, l'aspect est tourmenté, la surface corrodée.

Les teintes grises prédominent, mais une patine noire brillante de manganèse n'est pas exceptionnelle, moins encore une coloration mordorée ou rouille qui pénètre dans la masse.

La cassure affecte la forme conchoïdale et esquilleuse de celle des véritables silex, mais n'en possède pas l'aspect gras, et c'est seulement par polissage qu'une surface douce et luisante peut être obtenue; en fait, les éclats sont moins rugueux que poreux: la chaille absorbe les gouttes d'eau ou d'acide. La masse présente d'ailleurs des degrés d'altération très différents d'un échantillon à l'autre.

Toutes ces observations vont dans le sens d'une histoire singulièrement complexe des concrétions siliceuses depuis leur apparition dans le sédiment calcaire.

Le taux de chailles varie de zéro à la moitié du volume de l'éluvium en place: ses très fortes variations sont le reflet de la disposition des bancs dans la roche saine, mais aussi des remaniements sur les versants et des cheminements dans les cavités du karst; ainsi, le fond des dolines est généralement assez

---

(1) - entre Nevers et Decize: Gillot X., 1842.

## INTRODUCTION

enrichi en chailles, par suite du soutirage préférentiel des éléments fins, pour avoir autorisé des exploitations ponctuelles, destinées à l'empierrement des laies forestières.

La matrice est de teinte beige à ocre, un peu plus soutenue semble-t-il en moyenne que dans les argiles à silex issues du Crétacé. Des passées noirâtres manganifères sont plus rares que les marbrures gris-verdâtre, qui manifestent l'existence d'une gleisation profonde homologue de celle qui caractérise les "sables mio-pliocènes".

La granulométrie est délicate à définir ; d'un échantillon à l'autre, les écarts sont importants ; le taux de colloïdes paraît se situer entre 10 et 20 %, celui des limons entre 20 et 40 %, celui des sables entre 50 et 70 % (Tableau 1, p. 10).

La perspective édaphique conduit à rechercher les causes de la "vocation forestière" de l'éluvium, scrupuleusement respectée au cours de l'histoire rurale de la région. Les "chailloux" n'ont jamais fait l'objet que de défrichements très marginaux. Cette situation tient à la composition chimique du J plus qu'à ses caractéristiques physiques.

Le développement des argiles à chailles selon les processus du crypto-karst, qui implique pour la partie profonde la signification d'altérite, entraîne pour la partie supérieure du manteau celle de sol polyphasé au sens de Gèze (1). La limite entre les deux niveaux est difficile à fixer à l'intérieur du pédon. Dans l'un et l'autre, le matériel se définit par sa pauvreté en substances nutritives.

---

(1) - Gèze B., 1959.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

Substrat acide, les argiles à chailles présentent en général sur toute leur épaisseur, sauf dans les horizons supérieurs du sol, des pH qui ne s'éloignent de 5 que de un ou deux dixièmes en plus ou en moins. Sous la loupe, la matrice révèle une nature minéralogique semblable à celle du cailloutis: elle est essentiellement constituée de sable quartzeux non alluvial et de fines concrétions siliceuses. L'analyse chimique sommaire de deux échantillons (Tableau 1, p. 10) accorde 90% de la masse à la silice. L'identification des minéraux argileux (Tableau 2, p. 11) met en évidence l'énorme prépondérance des argiles à faible capacité d'échange, kaolinite et illite.

Il est donc normal que la mise en valeur agricole se soit arrêtée là où commence l'éluvium; mais n'y a-t-il pas contradiction entre ces données et la qualité des futaies qu'une gestion bien conduite a permis d'obtenir sur des cantons étendus? Elle peut se résoudre de plusieurs manières. D'une part, si la somme des bases échangeables est faible à l'unité de volume, les sols sur argiles à chailles sont épais. D'autre part, le fait que l'humus soit généralement dans ce cas de type Mull implique que le cycle de restitution fonctionne correctement, dans les conditions climatiques de la région, sauf perturbation de nature anthropique.

Enfin, la structure de l'éluvium est telle qu'elle assure le plus souvent une économie de l'eau correcte. A première vue, le  $\alpha$  est une masse cohérente avec une consistance de grès tendre. L'abondance des chailles lui confère déjà un caractère filtrant. Un examen plus attentif, réalisable dans les avens en cloche ré-

## INTRODUCTION

cemment ouverts, montre que la matrice présente une structure prismatique, dont les surfaces de séparation (Pl. 3, photo 5) constituent autant de voies de cheminement de l'eau, non pas simple percolation descendante rapide, mais mouvements lents, facilitant la saturation des micropores, et probablement réversibles selon la loi de redistribution des zones humectées vers les zones en cours de dessèchement (1). A l'intérieur des prismes, les particules sont organisées en petits agrégats tourmentés et caverneux qui donnent une structure fine spongieuse, favorable à la constitution d'une "réserve utile" importante. De fait, dans les conditions régionales de climat, les forêts sur argiles à chailles souffrent rarement d'un ravitaillement en eau insuffisant.

Cette condition générale favorable n'empêche pas que des secteurs étendus du plateau soient occupés par des sols à pseudo-gley. Les éléments d'information manquent pour établir la part dans cette situation des responsabilités humaines, indiscutables, et celle des influences naturelles : planité topographique, degré de stabilité de la structure de la matrice, taux de chailles, rôle du plancher sédimentaire, selon sa profondeur, selon sa nature, marneuse, ou calcaire, ou argileuse, présence localisée d'un pourcentage élevé d'argiles gonflantes. Il n'est pas improbable en outre que la tendance à l'hydromorphie sur des surfaces étendues soit, au moins partiellement, héritée des phases froides du Quaternaire.

La similitude génétique des argiles à chailles et des argiles à silex, la parenté de leur composition chimique et de leur

---

(1) - Féodoroff A., 1965.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

structure physique sont telles que les mêmes types de sols se retrouvent sur l'un et l'autre substrat.

Sans préjuger des conclusions de l'analyse sociologique, il est permis d'observer une bonne concordance globale entre la répartition des grandes familles édaphiques et celle des types de forêts. L'étendue des surfaces couvertes par le  $\mathfrak{X}$  et le  $\mathfrak{X}$  d'une part, les formations de remblaiement argilo-sableuses d'autre part, justifie amplement la place occupée par les forêts acidophiles, où le chêne est toujours présent, non toujours le hêtre. Les forêts neutrophiles constituent les groupements normaux de la Champagne berrichonne et du Donziais; mais elles s'insinuent couramment dans le domaine de la forêt acidophile, transgressant dans toutes les vallées et dans beaucoup de vallons. Comme dans les autres régions de France, elles offrent toute une gamme de transitions à la forêt basophile, et à la forêt baso-thermophile et xérophile que sa physionomie distingue d'emblée: taillis médiocres à réserves rares ou inexistantes, prés-bois alternant pelouses et fourrés. A ce niveau une double opposition s'exprime entre Berry et Nivernais: non seulement le cortège de plantes aimant la chaleur est plus fourni à l'ouest de la Loire, mais la forêt thermophile, forêt de plaine en Berry, où elle est étendue, devient à l'est une forêt de coteau, dans un contexte végétal dont elle n'est plus l'élément dominant. On pressent, à côté des influences édaphiques, le rôle des conditions climatiques.

## INTRODUCTION

*Ebauche des conditions climatiques  
et questions à résoudre.*

Si, comme l'ensemble du Bassin Parisien, la "province ligérienne" est deux jours sur trois sous l'influence de l'air maritime, elle n'en prend pas moins figure de région "climatiquement calme, lumineuse et relativement sèche" (1). Le jugement s'applique, au prix de quelques retouches, au Berry et au Nivernais qui, même à un niveau élémentaire d'analyse, manifestent déjà une certaine dissemblance.

Le tracé des isothermes, plus encore que la proximité des moyennes (Châteauroux = 11,4, - Bourges = 11,2, - Nevers = 10,6), incite, en toute saison, à conclure à une réelle homogénéité thermique régionale: 2 à 3° en janvier, aux alentours de 20° en juillet, 11 à 12° en avril et en octobre. Et si l'on en croit la moyenne des *maxima*, l'été nivernais est aussi chaud que l'été berrichon (Tx de juillet = 24,9 à Nevers, 25,1 à Bourges, 25,4 à Châteauroux; - Tx d'août = 24,7 à Nevers, 24,9 à Bourges, 25,1 à Châteauroux).

Mais les amplitudes thermiques sont inégales, de part et d'autre de la Loire. Si l'écart est limité à un demi-degré en hiver (Tx - Tn de janvier = 6,8 à Nevers, 6,2 à Châteauroux et à Bourges; - Tx - Tn de février = 8,1 à Nevers, 7,6 à Bourges, 7,5 à Châteauroux), il atteint ou dépasse le degré en été (Tx - Tn de juillet = 12,8 à Nevers, contre 11,8 à Châteauroux et 11,5 à Bour-

---

(1) - Pédelaborde P., 1957, p. 481.

## ESQUISSE DU CADRE REGIONAL

ges; -Tx - Tn d'août = 12,8 à Nevers contre 11,9 à Châteauroux et 11,5 à Bourges).

Plus heurté, le climat du Nivernais est aussi caractérisé par un hiver plus froid : à l'Est de la Loire, le nombre de jours de gelée est dans la fourchette de 80 à 100 par an, à l'Ouest dans celle de 60 à 80.

Une dualité similaire s'exprime dans les données qui définissent les précipitations. En moyenne, il pleut partout plus d'un jour sur deux de novembre à février, et plus d'un jour sur trois pendant le reste de l'année. Mais ce décompte, qui ne confère aucune originalité à la région, ne peut guère que confirmer la prédominance générale des influences maritimes.

Elles sont pourtant loin de s'exprimer dans une pluviométrie homogène. Plus que les valeurs repères de Châteauroux (723mm sur la période 1931-1960, 730 sur la période 1901-1950), Bourges (675 et 666) et Nevers (772 et 787), il faut enregistrer la correspondance, -classique-, entre l'organisation générale du relief et la répartition des précipitations : les hauteurs du Berry méridional, et surtout Sancerrois et Forterre, et plateau nivernais font figure de pays arrosés, avec des tranches annuelles de pluie dépassant 900 mm, tandis que la plaine berrichonne se situe au-dessous de 700 et pour partie de 600mm.

Cette évocation rapide des conditions climatiques, si elle éclaire partiellement certaines des différences aperçues dans la description sommaire des paysages forestiers, révèle surtout les insuffisances de l'information dans la perspective biogéographique. Il semble en particulier opportun d'étudier les in-



## INTRODUCTION

teractions climat - végétation, c'est-à-dire de rechercher quelle est la participation du manteau forestier, à côté des autres facteurs, dans la différenciation des climats, à l'échelle régionale, et à l'échelle locale. D'autre part, il serait bon également d'analyser les constantes propres à un "climat forestier", dont la réalité s'impose, et de préciser les caractères de l'ambiance climatique interne de la forêt.

La définition des limites territoriales du champ de recherches, l'esquisse rapide du cadre ainsi cerné, permettent désormais d'aborder l'étude de la forêt et de ses problèmes dans le sud du Bassin Parisien.:

Le Livre Premier est réservé à la reconnaissance des traits distinctifs du complexe climatique selon les orientations indiquées.

Le Livre Second fait le bilan de recherches biogéographiques effectuées pendant plus de vingt ans sur les groupements sylvatiques, et dégage peu à peu la logique des paysages. La première partie apporte une série de portraits de forêts. La seconde s'attache à définir les données chorologiques et écologiques régionales. La dernière partie est consacrée à l'établissement de la typologie et de la systématique des forêts, dans une optique géographique.

**LIVRE    PREMIER**

**UNITE    ET    DIVERSITE**  
**CLIMATIQUES**



## CHAPITRE 1

# LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Les conditions climatiques dans la biosphère, -une trentaine de mètres d'épaisseur, neuf-dixièmes au-dessus du sol, un-dixième dans le sol-, sont pour une part de nature microclimatique. Mais elles participent aussi très largement de l'ambiance régionale définie par les données astronomiques et par le dynamisme atmosphérique.

Les références au monde végétal, et notamment aux exigences de certaines espèces sont classiques dans les travaux géographiques intéressant la végétation. L'étude longuement poursuivie des associations végétales a conduit à tenter de serrer de plus près les corrélations entre le rythme saisonnier de la végétation et l'enchaînement des états du temps (1). Dans cet esprit, la méthode monographique pouvait permettre d'apporter d'utiles précisions.

---

(1) - Les travaux de F.P. Gay (1966) marquent déjà cette préoccupation, en même temps que le désir d'une réhabilitation de la climatologie séparative.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Le raisonnement s'appuie:

1° - sur les observations des stations M.N.: Châteauroux, Bourges, Nevers, Château-Chinon;

2° - sur celles de la station militaire d'Avord;

3° - sur les données pluviométriques réunies par l'ensemble des stations appartenant aux réseaux secondaires de l'Allier, du Cher, de l'Indre, de la Nièvre, de l'Yonne, et sur les données thermiques moins abondantes des mêmes réseaux. Le poste attaché pendant quelques années à la Maison forestière des Brays, près de Cérilly (Allier), a fourni des renseignements sur la température du sol;

4° - sur les renseignements collectés par un petit nombre de postes temporaires, installés pour analyser plus spécialement l'influence de la forêt et les conditions climatiques dans le sous-bois;

5° - sur les observations ponctuelles, réalisées notamment à l'occasion des relevés floristiques.

## DANS LA PROVINCE LIGERIE NNE

Les conditions climatiques régionales sont établies avec précision dans la littérature géographique (1).

L'unité de la partie méridionale du Bassin Parisien , érigée au rang de " Province ligérienne ",étendue des confins poitevins à la bordure du Morvan , est à la fois de nature astronomique et de nature aérologique .Les masses d' air maritime baignent la contrée pendant les deux-tiers de l'année.Même les anticyclones continentaux sont deux fois sur trois le résultat d'une dégradation locale ,faiblement poussée ,d'air d'origine océanique (2). La variation de la radiation solaire au cours de l' année est syncopée d'oscillations à courte période ,déterminées par la prédominance des situations cycloniques et la succession rapide de masses d'air dont les déplacements ne sont affectés que dans le détail par la topographie .Il en résulte une variabilité extrême du temps d'une année à l' autre et au cours d'une même saison.

Dans leurs nuances multiples,les saisons présentent une logique qui exprime la prédominance de l'influence atlantique.

L'hiver connaît des froids intenses par régime d'anticyclone continental,des froids moins vifs lorsque l'air d'origine

---

(1) - Vacher A.,1908;- Dion R.,1933;- Allix A.,1934;- de Martonne Emm.,1942; Pédelaborde P.,1957;- Gay F.P.,1966.

(2) - Pédelaborde P.,1957.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

maritime se continentalise sur le Bassin Parisien, ou par invasion d'air arctique, mais aussi beaucoup de jours maussades, sans que la température soit rigoureuse, par circulation d'Ouest.

Le printemps, encore troublé par des flux de Nord est aussi refroidi par les masses d'air atlantiques, encore très fraîches. Les masses chaudes ne font parfois sentir leur influence qu'en mai. Toutefois, lorsque le ciel est dégagé, la radiation solaire est déjà intense.

L'été, qui tarde donc souvent à s'installer, est fait d'une alternance de périodes de temps ensoleillé, de situations orageuses de Sud-Ouest et de Nord-Ouest, de phases pluvieuses par perturbations d'Ouest.

En automne, les masses d'air d'origine maritime restent généralement tièdes ou chaudes. Aussi la saison demeure-t-elle douce, à la fois par temps cyclonique et lors des périodes de grand beau-temps associées à l'extension des anticyclones maritimes. L'automne, comme le printemps, "est une queue de saison" (1). Mais il est tantôt d'une luminosité estivale, tantôt troublé par une circulation zonale active.

Au total, mises à part les invasions hivernales d'air d'Europe Centrale ou Scandinave, et les coulées arctiques, "l'empreinte de l'Atlantique proche domine fortement" (1).

L'uniformité des rythmes climatiques à travers la région se retrouve dans celle des rythmes végétaux. En dehors de quelques sites, favorisés par les conditions topographiques locales ou par le sol, le développement de la végétation s'effectue dans un

---

(1) - Pédelaborde P., 1957.



## DANS LA PROVINCE LIGERIEENNE

synchronisme relatif. A l'exception de rares plantes vernaies, particulières aux stations de la Périsse (1) et de la Chapelle-Saint-Ursin, les pelouses du Berry ne s'éveillent guère avant les friches du Nivernais. Les observations phénologiques printanières, menées avec toute la circonspection désirable, n'enregistrent entre associations homologues que des décalages minimes.

Le domaine étudié ne s'étend que sur un degré de latitude, de part et d'autre du 47ème parallèle. Les distances sont trop faibles dans le sens méridien pour autoriser des différences perceptibles dans la durée et dans l'intensité du rayonnement solaire.

Mais cette position en latitude trouve sa véritable signification par rapport aux trajectoires des perturbations et aux déplacements des masses d'air. On sait que les courants d'Ouest, lorsqu'ils atteignent le continent, subissent du fait de la rugosité plus élevée liée au relief et à la végétation, une accentuation de la déviation vers la gauche qui tend à leur donner une composante Sud-Ouest - Nord-Est, en même temps que leur vitesse diminue de moitié. La partie Sud du Bassin Parisien bénéficie de la sorte d'un effet d'abri à l'égard des perturbations normalement les plus actives; la région se trouve souvent au Sud du corps pluvieux, et est intéressée surtout par les secteurs chauds des cyclones, principalement en été. En cette saison, par temps anticyclonique, la situation est très proche du centre des hautes pressions, axées généralement sur le proche océan, et profite ainsi d'une nébulosité réduite.

---

(1) - près de Dun-sur-Auron (Cher).

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

L'incertitude qui pèse sur les séries statistiques, en ce qui concerne la mesure de l'insolation n'enlève pas leur intérêt aux cartes établies par Sanson et par Arléry (1). La répartition des durées annuelles exprime l'opposition entre les régions situées au Nord de la ligne de la Marne et de la Seine, dont l'ensoleillement est inférieur à 1700 heures par an, et la partie du Bassin Parisien située au Sud de cette ligne, dont l'insolation atteint 1700 à 1900 heures. Si janvier montre une grande homogénéité des conditions pour l'ensemble du Bassin de Paris, les mois d'été, juillet et août, marquent un avantage des pays ligériens dans leur ensemble.

Mais la durée d'insolation ne fournit qu'une idée imparfaite de la quantité d'énergie disponible au sol. La mesure de la radiation solaire globale n'est malheureusement effectuée que par un tout petit nombre de stations. Pour les autres postes météorologiques, on ne dispose que de valeurs calculées (2). C'est dire que les séries disponibles et les cartes réalisées récemment (3) marquent simplement l'état actuel des connaissances, et et doivent être utilisées avec précaution.

---

(1) - Sanson J., 1947; - Arléry R., 1961

"Nous insisterons cependant sur le fait que le lecteur aurait tort de prendre comme indiscutables les chiffres que nous publions et que nous ne pouvons considérer que comme des ordres de grandeur" (Arléry R., 1961, p. 2).

(2) - Turc L., 1955, a utilisé pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle la formule:

$$R_g = I_{ga} (0,18 + 0,62 \frac{h}{H})$$

dans laquelle  
R<sub>g</sub> est la radiation globale au sol,  
I<sub>ga</sub> est la radiation (exprimée en cal/cm<sup>2</sup>:jour), qui atteindrait le sol en l'absence d'atmosphère, calculée d'après Angot A., 1885;  
h est la durée d'insolation, mesurée en heures, à l'héliographe Campbell, ou à défaut à l'appareil Jordan;  
H est la durée astronomique du jour (en heures).

(3) - renseignements communiqués par Monsieur N. Gerbier, S.M.M., Paris, Climatologie.

DANS LA PROVINCE LIGERIEENNE

Elles n'en soulignent pas moins l'originalité des pays compris entre la Loire et le Massif Central qui, de mars à octobre, bénéficient d'une radiation globale quotidienne (Fig. 2, p. 15) supérieure en permanence à celle des régions situées au nord du fleuve.

Une constatation particulièrement importante du point de vue biologique résulte de la comparaison des quantités d'énergie disponibles, d'une part dans la dition, d'autre part respectivement en Aquitaine et dans le sillon séquano-rhodanien. Les isolignes dessinent à partir du Poitou une sorte de doigt de gant en direction du Sancerrois, discernable sur les cartes de mars, avril, juin, septembre, octobre. Se raccordant à la Limagne, et surtout au couloir de la Saône et du Rhône, une deuxième région d'intensité élevée de la radiation globale s'étend jusqu'à la Loire, en contournant le Morvan au nord par les plateaux de Basse-Bourgogne. Le fait est observable sur les cartes de mai, juin, juillet, et encore de septembre et octobre.

La disposition en mâchoires de tenailles de ces deux domaines favorisés sous l'angle de la quantité d'énergie disponible au sol mérite d'être retenue, en raison de l'analogie qu'elle présente avec la répartition de certaines espèces végétales latéméditerranéennes, dont les aires enveloppent le Massif Central par l'ouest et par l'est.

Elle éclaire d'un jour nouveau l'observation de Dion (1), présentant l'extension du vignoble comme critère distinctif des Pays de la Loire par rapport au reste du Bassin Parisien: il n'est pas sûr que ce soit la continentalité, plus que la latitu-

---

(1) - Dion R., 1933.

#### LA CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

de, qui crée les conditions thermiques qui ont favorisé l'extension de la vigne. La situation par rapport aux trajectoires des courants de circulation atmosphérique paraît, en fin de compte, avoir plus d'importance que l'éloignement de la mer dans l'individualisation de ce "faciès plus chaud et plus lumineux du climat parisien" (1).

---

(1) - Pédelaborde P., 1957, p. 497.

## ELEMENTS DE DIVERSITE

Les facteurs de diversité sont assez efficaces pour avoir conduit les auteurs à distinguer dans la région ligérienne au moins deux sous-secteurs climatiques. En raison de la faible extension en longitude de la région, les différences sont moins l'expression de la continentalité progressivement accentuée que celle de facteurs géographiques plus contrastés, relief, sols et végétation, dont il n'est pas aisé d'ailleurs de distinguer les parts respectives. A cette étape de la présentation des conditions climatiques régionales, sans remettre en cause les données établies, il n'est pas inutile d'affiner un certain nombre d'observations.

## 1° - LE ROLE DU RELIEF

## Relief et pluviométrie

Le relief introduit plus que des nuances dans le climat ligérien; son action s'exerce à la fois sur la pluviométrie et sur les températures.

A l'égard de la pluviométrie, les conditions générales d'abri aérologique sont largement obliérées; les "pays hauts" de la région, Sancerrois, Nivernais, Berry méridional, sont des pays pluvieux (1).

---

(1) - de Martonne Emm., 1942; - Pédelaborde P., 1957.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Pédelaborde a justifié l'influence décisive de la topographie, dans le cadre plus large du Bassin Parisien, par le fait qu'ascendances et subsidences, déterminées par des dénivellations modestes, ont d'autant plus d'efficacité sur les fronts que ceux-ci les atteignent plus affaiblis. Ainsi, le Berry est-il abrité des perturbations peu actives par le Bocage Vendéen.

De même, on peut observer que, par courant de Nord, le Sancerrois provoque un "effet de fœhn" qui affecte la Champagne de Bourges - Avord. Les stratus s'élèvent, ou la couche nuageuse se désagrège partiellement. Alors que le ciel est couvert à 8 octas à Orléans, et que le plafond s'y trouve à cent mètres, sur la plaine berrichonne, le plafond est porté à cent cinquante mètres et le couvert oscille entre 6 et 7 huitièmes. Par courant de Sud, malgré la continuité topographique de la surface des Combrailles à celle du Berry, la couverture nuageuse se fragmente au nord du Massif Central.

Des effets semblables sont déterminés par les lanières de plateau du Nivernais qui multiplient les obstacles face aux courants d'Ouest, les plus fréquents.

Les grandes lignes de la répartition des précipitations établissent clairement, au sud du Sancerrois, la disposition méridienne de la frontière entre pays recevant, à l'ouest moins de 800 mm d'eau, à l'est un total plus élevé. Le cours de la Loire localise cette limite avec une bonne approximation. Mais la pluviométrie n'augmente pas régulièrement du Val au Morvan. Le Bazois constitue une zone déficitaire, relativement aux deux régions qui l'encadrent, collines du Nivernais et Morvan.

## RELIEF ET PLUVIOMETRIE

Dans le détail, les orientations du relief introduisent des nuances très fines dans la pluviosité, et la région fournit une remarquable illustration de l'influence du modelé sur la répartition des précipitations, en fonction de la trajectoire des perturbations et du dynamisme des courants perturbés.

### *SITUATIONS FLOUES:*

Certes, il existe un certain nombre de situations pour lesquelles les relations entre pluviométrie et relief sont singulièrement obliérées, le facteur décisif de répartition étant alors la position du corps nuageux par rapport à la dition.

Ainsi, les 18 et 19 novembre 1962, la zone pluvieuse liée à une cyclogenèse secondaire dans un courant lent d'Ouest est axée sur l'Ouest du Berry. Sur la moitié orientale de la dition, les différences pluviométriques sont d'une ampleur limitée (Fig. 3, p. 16).

Du 1er au 6 novembre de la même année, l'ondulation au-dessus du Berry et du Poitou du front froid de la dernière perturbation d'une famille de Nord-Ouest, bloquée dans son évolution par le développement d'un anticyclone continental, avait provoqué une dissymétrie pluviométrique entre Berry et Nivernais, à l'avantage du Berry (Fig. 4, p. 17).

### *COURANTS D' OUEST , DE NORD - OUEST , DE SUD - OUEST:*

#### *Exemple du 8 au 10 décembre 1962:*

Un front froid ondule sur la région dans un flux d'Ouest. Le corps nuageux associé donne pluie et neige sur le Berry et le Nivernais; il est suivi par un temps de traîne.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

L'opposition d'ensemble entre la Champagne et les pays accidentés est nette; les faibles talus crétacés des confins nord-ouest du Berry suffisent à provoquer des recrudescences locales des précipitations. Le Sancerrois, les plateaux de Sancerrois et de Cérilly, le Nivernais, sont bien arrosés. Le Bazois, le fossé ligérien, le fossé de Montluçon (Fig. 5, p. 17), sont inégalement déficitaires.

Par courant de nord-Ouest, les effets de relief sont aussi nettement marqués, ainsi que l'exprime dans sa diversité, la série des exemples suivants.

### *Exemple des 12 et 13 décembre 1962:*

La situation des 12 et 13 décembre 1962 (Fig. 6, p. 18), marquée par l'ondulation d'un front froid qui se décale lentement vers l'est au-dessus de la région, ne montre que l'accroissement classique des précipitations à l'approche des reliefs.

### *Exemples des 22-24 novembre et 20-21 décembre 1962:*

Du 22 au 24 novembre, le faible courant dérivé qui circule des Iles Britanniques au Golfe de Gênes donne sur le Centre de faibles quantités de bruine, de pluie ou de neige. Sancerrois et Nivernais accusent un total pluviométrique plus élevé que le reste de la région (Fig. 7, p. 19).

Les 20 et 21 décembre (Fig. 8, p. 19), la perturbation qui, ralentie par l'extension de l'anticyclone scandinave, traverse le France, fournit des pluies abondantes sur la Puisaye et le Nivernais méridional, tandis que Sologne bourbonnaise, sud du Ba-



## RELIEF ET PLUVIOMETRIE

zois, fossé de Montluçon, représentent des aires de pluviosité *minima*.

*Exemples des 20 et 21 novembre et du 11 décembre 1962:*

D'autres cas affirment par retouches successives la multiplicité des combinaisons d'influences. Ainsi, les précipitations, liées à la perturbation de nord-ouest qui intéressait la région les 20 et 21 novembre, en donnant pluie et neige (la couche de neige dépassait 5 cm sur le plateau nivernais), étaient surtout importantes (Fig. 9, p. 20), en dehors du Morvan, sur le Sancerrois septentrional, le sud des collines nivernaises, le plateau de Tronçais.

Dans la journée du 11 décembre, le front chaud d'une perturbation de nord-ouest balaie l'espace compris entre Tours et Nevers. La carte (Fig. 10, p. 20) marque dans l'ensemble l'opposition entre l'ouest et l'est de la dition; dans le détail ressortent la pluviométrie élevée du Sancerrois, du Nivernais, de la Puisaye, s'opposant au déficit de la Sologne bourbonnaise et du Bazois méridional.

*28-31 octobre, 15-17 novembre, 14-19 décembre 1962:*

A partir du 28 octobre, un courant, - dont la partie active s'établit de Terre-Neuve à la Norvège-, dirige sur la France des perturbations de nord-ouest, qui l'atteignent au stade de l'occlusion. Un régime de traîne donne le 28 des pluies intermittentes (cinq périodes pluvieuses, dont la durée varie de un quart d'heure à deux heures, se succèdent à Bourges entre huit et dix-

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

neuf heures, séparées par des intervalles de une à deux heures), C'est la journée du trente qui fournit l'essentiel des précipitations de la période (Fig. 11, p. 21 et 12, p. 22).

Au-delà de l'opposition entre la plaine berrichonne et les pays accidentés de l'est, l'exemple souligne l'existence dans cette partie de la région de trois secteurs déficitaires : Sologne bourbonnaise, Bazois, couloir ligérien, surtout dans sa partie sud.

Les relations entre pluviométrie et relief se manifestent avec davantage encore de netteté durant la séquence de temps du 15 au 17 novembre (Fig. 13, p. 22). Le courant, établi depuis le onze de l'Amérique à l'Islande, bloqué dans son développement vers l'est par l'anticyclone scandinave, dirige sur la France des perturbations de nord-ouest, suivies d'invasions froides. Les précipitations sont surtout abondantes le 17 ; une chute de neige, le 16, a couvert le plateau d'un manteau de 2 cm d'épaisseur. Cette situation est plus proche des conditions hivernales que des caractéristiques automnales.

Dans le périmètre de l'étude, alternent d'ouest en est trois domaines où les précipitations sont fortes : Sancerrois et région de Sancoins-Cérilly, plateau nivernais, et Morvan, et trois zones de pluviométrie réduite : Champagne, Val de Loire, Sologne bourbonnaise, et Bazois, particulièrement au nord et au sud.

Encore en régime de nord-ouest, les perturbations qui se succèdent du 14 au 19 décembre intéressent le Centre au stade de l'occlusion, ou par leurs fronts froids.

## RELIEF ET PLUVIOMETRIE

Elles donnent d'importantes quantités d'eau, en particulier le quinze, journée au cours de laquelle il ne cesse pratiquement pas de pleuvoir.

Les figures 14 et 15 (p. 23) montrent l'augmentation de la pluviométrie sur la Champagne berrichonne aux approches septentrionales du Massif Central, et sur les hauts pays de l'est de la région. Depuis la Limagne, des zones de moindre abondance accompagnent le cours de l'Allier, puis celui de la Loire. Au nord-ouest du Berry, les modestes reliefs de la cuesta crétacée entraînent une recrudescence locale des pluies. Le fossé de Montluçon circonscrit une aire de sécheresse; le Bazois est moins arrosé que les reliefs encadrants.

Sur l'ensemble de la période (Fig. 14), les différences sont plus vigoureuses que pour la seule journée du 15 (Fig. 15): l'action des reliefs apparaît plus efficace sur des systèmes dépressionnaires atténués. L'opposition entre la Champagne et la partie orientale est bien marquée. La sécheresse du Val de Loire et d'Allier, celle du couloir du Cher se confirment. Quant au Bazois, il réalise la transition entre les domaines déficitaires de Limagne et de Basse-Bourgogne.

### *Exemple du 24 au 27 octobre 1962:*

Après une longue période anticyclonique, c'est un exemple de flux de sud-ouest, intéressant les Pays de la Loire par les ondulations du front froid qui est fourni par la séquence de temps du 24 au 27 octobre 1962. Les précipitations sont pratiquement concentrées sur la journée du 26 et la nuit suivante, marquées par le passage d'un important corps pluvieux (il pleut à Bour-

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

ges de 15 heures le 26 à 4 heures le 27) . Dans cette occurrence, le plateau nivernais représente la région la plus arrosée, davantage même que le Morvan, dont seul le talus occidental reçoit beaucoup d'eau . L'effet d'abri dont bénéficie la Limagne disparaît vers le nord, mais demeure encore perceptible, non seulement sur la Sologne bourbonnaise, mais aussi, très atténué, sur le sud du Bazoïs (Fig. 16, p. 24) .

Tous les régimes d'ouest sont donc caractérisés, à des degrés divers, par une répartition en bandes méridiennes de pluviométrie alternativement faible et forte. La dernière région de précipitations réduites, le Bazoïs est -paradoxalement semble-t-il- la moins sèche, en tout cas dans sa partie centrale. En fait, il n'y a pas d'anomalie: les formations nuageuses de cumulo-nimbus, qui se développent par effet de blocage du talus morvan-deau, se disposent couramment en alignements nord-sud, qui au droit du massif ancien débordent sur la dépression liasique.

### AUTRES EXEMPLES

Les derniers exemples analysés reproduisent des cas dans lesquels les trajectoires des perturbations cessent d'être sensiblement orthogonales aux lignes de relief.

#### *Exemple du 6 au 8 novembre 1962:*

Ainsi, à partir du quatre novembre 1962, la situation générale est caractérisée par un courant rapide du Groënland au Sahara, et par un flux de secteur sud de la Libye à la Scandinavie. Dans ce mouvement lent de sud-est, trois perturbations intéres-

## RELIEF ET PLUVIOMETRIE

sent successivement la dition. Mais le passage des corps nuageux n'apporte que des précipitations modestes, sauf tout à fait à l'ouest de la région, où l'abri du Massif Central joue peu. Une faible recrudescence de pluviosité se manifeste sur les reliefs méridionaux du Berry et du Nivernais, puis de nouveau sur le Sancerrois occidental et la Puisaye. Les Vaux d'Yonne et la partie de la Champagne axée sur la vallée du Cher font figure de couloirs de sécheresse (Fig. 17, p. 24).

*Période du 9 au 14 novembre 1962:*

L'évolution de ce courant perturbé est freinée par le développement d'un anticyclone scandinave. Au type de temps dégagé à cirrus et alto-cumulus, qui s'est établi en arrière de la troisième perturbation de sud, succède une période maussade avec ciel couvert, plus de bruine que de pluie, et la première neige de l'année. Ce temps est déterminé, d'abord par le retour vers le sud du dernier front, puis par l'établissement d'un régime de front stationnaire. Les précipitations, médiocres, présentent comme dans les premiers exemples étudiés, peu de corrélations avec le relief. Pourtant, un effet d'abri du Nivernais sur la Sologne bourbonnaise septentrionale se dessine (Fig. 18 et 19, p. 25).

Au terme de l'analyse de la répartition des précipitations selon la trajectoire des perturbations, il apparaît non seulement que la topographie exerce un effet quantitatif important, mais en outre que l'action différentielle du relief ajoute à l'irrégularité qui, dans le cadre du Bassin Parisien, caractérise la répartition saisonnière des pluies.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

### Relief et enneigement

Dans la plupart des postes météorologiques, les observations concernant la neige font défaut, ou sont quantitativement et qualitativement insuffisantes. Aussi est-il difficile de préciser les relations entre relief, précipitations neigeuses et enneigement.

Tant en Berry qu'en Nivernais, il est exceptionnel que la neige tienne longtemps ; sur la période 1948 - 1965, la moyenne de l'enneigement s'établit à une douzaine de jours par an pour les stations de Bourges et de Nevers (1), contre sept à Tours et huit à Orléans. Cette normale est atteinte trois années sur cinq. Quelques hivers seulement sont caractérisés par des durées beaucoup plus longues du manteau de neige : 1953-54 (20 jours), 1962-63 (20 jours), 1955-56 (24 jours). D'autres années, le sol n'est couvert que pendant un temps très court (2 jours en 1956-57).

Les chutes de neige sont en effet peu nombreuses, une quinzaine en moyenne par an, et n'apportent en général qu'une couche de quelques centimètres : à Nevers, le record s'établit à 15 cm, les 22 et 23 février 1948, ainsi que les 19 et 20 novembre 1952-(2).

Plus que l'épaisseur du manteau, c'est l'établissement d'un régime de froid vif après les précipitations qui entraîne la persistance de l'enneigement ; l'occurrence se réalise essentiellement en janvier et février. Au cours du dernier quart de siècle

---

(1) - toute journée pendant laquelle la neige couvre le sol plus qu'à moitié, même pendant un temps très court, est comptée comme jour d'enneigement.

(2) - Mironovitch V., 1949 ; - Niel G., s.d. (1968).

## RELIEF ET ENNEIGEMENT

cle, huit fois la neige a tenu en janvier à Nevers pendant cinq jours au moins, une seule fois pendant neuf jours; février n'a compté que cinq séquences d'enneigement continu de cinq jours, mais dans ce nombre entrent une série de neuf jours (1954) et une de trois semaines: en 1956 la couche, réapprovisionnée fréquemment, se maintient du premier au vingt et un. Cependant, sur vingt-trois ans, huit fois février s'est écoulé sans neige, janvier une fois seulement.

Novembre, décembre et mars sont beaucoup plus modestement enneigés. La chute la plus précoce, au cours de la période 1945-1968 s'est produite le 3 novembre (1966). La fonte des premières neiges est toujours assez rapide: deux fois seulement, le manteau a persisté pendant quatre jours. Mais, parce qu'elles interviennent à un moment où les forêts ne sont pas encore complètement dépouillées, les neiges de novembre sont peut-être les plus redoutables, sous l'angle des bris de branches.

En décembre, une année sur deux il ne neige pas, mais quatre fois, le sol est resté caché pendant cinq jours de suite, dont une fois pendant une semaine.

Dans la première quinzaine de mars, la neige tombe encore une année sur trois avec une relative abondance (7 cm le 9 mars 1955), et quatre ou cinq jours peuvent s'écouler avant fusion complète. Occasionnellement, des précipitations neigeuses importantes se produisent bien plus tard, en avril (environ 5 cm le 24 avril 1950), voire en mai.

Ces conditions globales d'enneigement sont modestes en regard de celles du massif morvandau voisin, pourtant elles-mêmes

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

limitées (1). Les parties hautes de la région étudiée, Sancerrois et plateau nivernais, ne reçoivent pas des précipitations neigeuses systématiquement plus abondantes que les bas pays. Les écarts d'altitude ne sont pas suffisants pour entraîner des différences dans la nature des précipitations. Par contre le manteau neigeux, lorsqu'il est installé, dure un peu plus longtemps; couramment, le Sancerrois encore tout blanc se dresse au-dessus du Val et de la Champagne berrichonne. De même, la traversée du plateau à éluvium d'Ouest en Est permet de retrouver la neige, déjà fondue dans le Val, à une dizaine de kilomètres de la Charité, accrochée aux pentes mal exposées, tassée dans les fossés, ou simplement conservée derrière les haies: manteau discontinu le plus souvent, mais qui exprime néanmoins la rigueur un peu plus grande de l'hiver.

### Relief et température

Les relations entre le relief et la température sont de nature très complexe (2); et il est bien délicat dans la région de distinguer les effets de l'altitude et de la topographie d'une part, l'influence du sol et celle de la végétation par ailleurs; les stations effectuant des observations thermométriques sont en nombre limité: on peut en outre se demander, si dans cer-

---

(1) - en Morvan, l'épaisseur de la couche de neige est de l'ordre de quelques décimètres (50 à 60 cm en 1952, année de particulière abondance). Sa durée est très variable: 74 jours durant l'hiver 1952-53, 14 jours en 1958-59. En janvier le record de durée appartient à l'année 1953 (30j), en février à 1956 (29j).

(2) - de Martonne Emm., 1934.



## RELIEF ET TEMPERATURE

tains cas, les valeurs enregistrées ne comportent pas uniquement un intérêt microclimatique.

Les moyennes annuelles (Tableau 3, Fig. 20 et 21, p. 26) semblent *a priori* exprimer de façon banale l'action combinée de l'altitude et de la continentalité, croissantes vers l'Est : dans la partie orientale de la dition, à un hiver plus froid que sur le Berry, succède un été moins chaud.

Toutefois la référence aux *maxima* et aux *minima* moyens montre que par rapport au Morvan, plaines et plateaux du Bassin Parisien méridional n'enregistrent un avantage thermique que pendant les heures chaudes de la journée. L'écart sur les températures de fin de nuit est limité, et même, de février à octobre, les *minima* moyens de Château-Chinon sont supérieurs à ceux de Nevers. Ces constatations méritent plus ample analyse.

### L' HIVER PLUS DUR

#### DE LA PARTIE ORIENTALE DE LA DITION:

La rigueur accentuée de la mauvaise saison dans la partie orientale du périmètre étudié s'exprime notamment par un plus grand nombre de jours de gelée.

Au cours du rude hiver 1962 - 63, en Champagne berrichonne, la durée du gel n'atteint 90 jours que dans les régions proches de la Brenne. Elle dépasse 100 jours sur le plateau nivernais, le Bazois, la Sologne bourbonnaise, et se situe entre 110 et 130 sur le Morvan (Fig. 22, p. 27). Le Bazois est aussi froid, voire davantage que le plateau forestier du Nivernais.

De même, si la longueur des périodes de froid continu (gel

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

sans dégel), montre la sévérité relative des hivers morvandean et nivernais, la Sologne bourbonnaise n'apparaît pas mieux partagée (Fig. 23, p. 27).

Continentalité et altitude croissantes vers l'Est ne suffisent pas à expliquer pleinement ces situations.

### *LES PREMIERS FROIDS ET LES DERNIERES GELEES:*

Le froid s'installe sur l'ensemble de la région à la même époque.

Ainsi, en 1963, c'est le 22 novembre qu'il intéresse pour la première fois la totalité du Berry et du Nivernais. Mais déjà le 30 octobre, un gel plus ou moins intense n'a épargné que l'Ouest de la Champagne, au-delà du méridien de Châteauroux (Fig. 24, p. 28). La chute de température s'est produite alors au terme d'une période de hautes pressions entrecoupée par le passage d'une série de fronts, la dernière séquence, de trois jours, étant caractérisée par une situation anticyclonique peu accusée, avec brouillard persistant au sol.

Cette attaque initiale généralisée du froid est d'une âpreté très inégale (Fig. 25, p. 28). Ce sont les couloirs du Bazois et du Val de Loire qui sont les plus touchés ( $-5^{\circ}$  à Corbigny, la Collancelle et Vandenesse, presque  $-4^{\circ}$  à Nevers), tandis que le Morvan, les hauts du Nivernais et le plateau de Tronçais sont relativement épargnés. Ce sont donc les conditions topographiques, non l'altitude, qui sont déterminantes de l'intensité du gel.

D'ailleurs, le thermomètre est déjà tombé au-dessous de zéro

## RELIEF ET TEMPERATURE

le 15 octobre dans certaines parties du Bazois, dans le Val, dans quelques vallées du plateau, et même dès les 2 et 3 octobre par endroits. Pour que le gel se produise dans ces périmètres particulièrement sensibles, il a suffi à ces dates d'un régime d'advection froide en situation de traîne.

Si le véritable hiver survient presque partout à la même époque, le froid s'attarde au printemps sur les pays accidentés de l'Est de la région.

En 1963, les gelées du 3 avril, en régime anticyclonique, sont enregistrées par toutes les stations à l'exception de celle de Bourges (+ 0,4°). Mais les coups de froid du mois de mai (3-5-11-25 mai), en situation d'invasion froide postérieure, épargnent la Champagne berrichonne. Ce sont les mêmes dépressions topographiques qui connaissent les gelées tardives et subissent les gelées précoces (Fig. 26, p. 29).

### FREQUENCE DU PHENOMENE D'INVERSION MATINALE:

En sus de la fréquence plus grande du gel dans les dépressions de l'Est de la région, l'examen des températures vraies révèle que les *minima* sont couramment plus bas en plaine que sur le Morvan. Estienne (1) a montré que cette situation se produit notamment en régime continental de Nord-Est. En fait, le phénomène d'inversion, par sa vigueur, sa fréquence, sa généralité, mais en outre par son caractère différentiel entre Berry et Nivernais, est sans doute une des données les plus originales du climat régional.

---

(1) - Estienne P., 1956.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Dion (1) avait déjà souligné l'existence en Nivernais de "dépressions de faible étendue, aussi favorables à l'accumulation de l'air froid qu'au réchauffement rapide de l'atmosphère". Il est banal, en plein mois d'août, de voir à la chute du jour, un banc de brouillard glacé d'un mètre d'épaisseur flotter à quelques décimètres au-dessus du fond des vallées nivernaises, tandis que l'air tiède baigne les versants. En hiver, le verglas se forme parfois dans le creux de Chavignol, tandis que les éperons du Sancerrois en sont indemnes.

### *Exemple de mai 1964 :*

Le mois de mai a été choisi pour suivre dans le détail le phénomène d'inversion, en raison de l'importance, pour la végétation naturelle, de cette période qui voit notamment s'effectuer la feuillaison des principales essences forestières.

Du 1er au 23 mai 1964, quatorze fois le Morvan a été moins froid au matin que le Berry et le Nivernais ; dix-neuf fois les températures enregistrées ont été plus basses dans les dépressions que sur le massif ancien ; onze jours ont accusé une différence supérieure à 4 degrés, et pouvant s'élever jusqu'à 8 degrés (Fig. 27, p. 30).

Durant ces trois semaines, la situation météorologique est caractérisée par la succession rapide de temps anticycloniques et de temps perturbés. Les 1er et 2 mai, l'anticyclone installé au sud du courant perturbé qui intéresse le littoral de la Manche permet une inversion généralisée. Le flux d'Ouest détruit

---

(1) - Dion R., 1933.

## RELIEF ET TEMPERATURE

cette situation, d'abord sur la plaine berrichonne, puis dans les creux du Nivernais où l'inversion, dont la valeur au départ supérieure par endroits à 5 degrés, tombe à 1/2 degré et disparaît le 5 ; une advection chaude par courant de Sud-Ouest réalise de nouveau les conditions d'inversion généralisée les 6 et 7 mai. C'est du 9 au 12, dans un anticyclone d'air maritime, que le phénomène atteint sa plus grande sévérité, avec des *minima* inférieurs à ceux de Château-Chinon de 1 à 3 degrés sur le Berry, de 4 à 8 degrés dans les dépressions du Bazois et du Nivernais. Le refroidissement est assez marqué pour que le 9 mai il y ait de la gelée dans le Bazois ainsi que dans la dépression de Saint-Amand-Montrond.

Il apparaît ainsi que le phénomène d'inversion est largement responsable de la répartition des gels tardifs. Il en rend la cartographie difficile, en l'absence d'un réseau très dense d'observation.

Une perturbation balaie l'inversion, puis l'air maritime se continentalise et le processus se répète. L'invasion froide postérieure à une nouvelle perturbation permet encore de fortes inversions à partir du 21 mai.

Les figures 28 et 29 (p. 32 - 33), en combinant les profils thermiques quotidiens, réalisent des "reliefs thermiques" de la situation en cette période vernale, cruciale pour la végétation. Elles évoquent la distribution des *minima* dans l'espace et dans le temps (1).

---

(1) - Les profils ont été construits à partir des conventions suivantes; l'échelle thermique et l'échelle topographique sont alignées sur la base de  $\frac{1}{2}^{\circ}$  pour 100 m; le "zéro" est le *minimum* de Château-Chinon pour la figure 28, le *minimum* de Châteauroux pour la figure 29.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Le relief construit par référence aux *minima* de Château-Chinon, vigoureux, exprime la généralité du phénomène d'inversion. Mais le style varie du Berry, où l'écart thermique reste limité, au Nivernais et au Bazois, où les sautes de températures sont très accusées.

Le relief construit par référence aux *minima* de Châteauroux confirme naturellement ce contraste; aux vallonnements de la Champagne, s'oppose le compartimentage du secteur nivernais; le Berry (1) est le domaine des oscillations amorties des *minima*, l'Est de la région s'en distingue par des fluctuations brutales.

### *Exemple de l'année 1963:*

Le phénomène d'inversion (Tableau 4, p. 31) n'épargne aucune saison. Entre le 4 janvier et le 20 mars 1963, il a affecté le Bazois deux jours sur trois, le plateau un jour sur deux, la Champagne un jour sur trois, aussi bien par beau temps qu'en régime perturbé. Ces proportions se maintiennent à des variantes près tout au long de l'année. Les inversions généralisées sont liées, tantôt au rayonnement intense en période anticyclonique, tantôt à la disposition des masses d'air. Le compartimentage du relief dans l'Est de la région paraît en fin de compte augmenter de 50% le nombre des cas d'inversion.

---

(1) - entre Châteauroux, Issoudun, Bourges, Avord, les différences enregistrées montrent que l'uniformité topographique de la plaine berrichonne n'est pas le seul facteur en jeu; l'existence des étangs brennoux, l'étendue plus ou moins grande des forêts, le site précis des stations sont des éléments dont le rôle ne peut être négligé.

## RELIEF ET TEMPERATURE

*HOMOGENEITE THERMIQUE A L' OUEST,  
HETEROGENEITE A L' EST:*

Les contrées orientales ne diffèrent pas seulement du Berry par leurs températures matinales. Ces pays sont également caractérisés par la multiplicité des effets d'abri, et par des contrastes d'insolation suffisamment vigoureux pour que les espèces et les associations végétales soient différentes sur les versants opposés d'une même butte.

A cause de sa planité, la Champagne berrichonne présente une relative homogénéité thermique.

A partir du Sancerrois et du Val de Germigny, le morcellement topographique exerce de tels effets sur la marche des températures, ainsi d'ailleurs que sur la pluviométrie, que l'ambiance générale, dépendante de la succession des masses d'air, est suffisamment retouchée pour que s'individualise une foule de régimes locaux.

Relief , température , rosée , et humidité de l' air

Par le truchement de son action sur la température, le relief exerce aussi une influence sur les conditions ponctuelles d'humidité de l'air. Le refroidissement nocturne entraîne couramment la formation de rosée. L'expérience montre que celle-ci apparaît dès que les indications fournies par le psychromètre de l'abri

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

météorologique classique situent l'humidité relative au niveau de 85-88% (1). Du fait de la chute de température plus prononcée au niveau du sol, la tension critique se trouve atteinte.

En comparaison du Berry, l'intensité relative du froid en Nivernais, plus spécialement dans les dépressions topographiques, par effet d'inversion, justifie non seulement que le point de saturation soit atteint plus souvent, mais aussi que la tension maximale de vapeur persiste pendant une durée plus longue.

### UN EXEMPLE:

Du 23 au 28 août 1964, la région bénéficie, en régime anticyclonique, d'un temps ensoleillé et chaud. La durée d'insolation est de 79 heures à Châteauroux, 71 à Bourges, 72 à Nevers, soit respectivement 95, 86 et 89 % du *maximum* possible. La montée en température, poursuivie jusqu'au 26, fait passer le *maximum* du niveau de 24-25° (23,9 à Nevers, 24,4 à Châteauroux, 25,2 à Bourges) à la tranche 32-35° (35,8 à Bourges et 35,0 à Châteauroux le 26, 32,4 le 26 et 33,2 le 27 à Nevers). Une baisse, surtout sensible à Châteauroux, s'amorce seulement durant les deux derniers jours, en relation avec l'approche d'une masse d'air mari-

---

(1) - Dans l'exemple analysé, l'observateur de Bourges note la présence de rosée le 26 août, jour où le taux d'humidité relative dans l'abri n'a pas dépassé 80%; mais la température *minima* enregistrée à 10cm au-dessus du sol, 12,3, est inférieure de 2,5 au *minimum* de l'abri; et la tension critique se trouve ainsi atteinte.

L'absence d'observations de la température au sol à Châteauroux et à Nevers, le seul enregistrement des *minima* et *maxima* à Bourges, obligent à suivre les fluctuations de l'humidité relative en relation avec celles de la température dans l'abri. La confrontation des notations réelles de rosée avec les indications tirées de l'utilisation du seuil de 85-88%, établit une bonne corrélation, qui justifie l'emploi de la méthode.



RELIEF,TEMPERATURE,ROSEE,ET HUMIDITE DE L'AIR

time frais de nord-ouest. L'intensité du rayonnement nocturne justifie une amplitude élevée (Tableau 5, p. 34 et Fig. 30, p. 36). Par rapport à Château-Chinon, l'inversion matinale est quotidienne (Fig. 31, p. 37), mais elle prend des valeurs exceptionnellement importantes dans les "vallées nivernaises": jamais moins de 4° d'écart, plus de 9° le 24 et le 27 août.

L'hygrométrie varie - normalement - en synchronisme avec la température. Que Bourges et Châteauroux connaissent des heures de sécheresse diurne plus nettement accusée que Nevers (le 26, l'humidité relative tombe temporairement à 23% à Châteauroux) est en accord avec les différences thermiques entre les stations (Fig. 30).

L'évolution nocturne de l'hygrométrie, par contre, retient l'attention. A Châteauroux, le seuil de 88% est franchi une fois dans l'abri (le seuil de 85%, quatre fois), à Bourges une fois, à Nevers sept fois (Fig. 30 e). Surtout il existe une différence très nette entre Berry et Nivernais dans le développement des conditions de saturation; les courbes de Bourges et Châteauroux évoluent dans un relatif parallélisme et accompagnent la baisse nocturne de température. Les condensations au sol, quand elles se produisent, se situent soit à la pique du jour, soit à la fin de la nuit. La durée de formation de la rosée apparaît dans tous les cas limitée. Le cap de trois heures au seuil de 85% n'est atteint que dans la nuit du 23 au 24 août (Fig. 32, p. 38).

A Nevers au contraire, le niveau de 85% est atteint pendant presque 36 heures sur les nuits du 23 au 28, soit une moyenne de plus de 7 heures par nuit; le seuil de 88% est encore rejoint

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

pendant 25 heures et il ne persiste jamais pendant moins de 2 heures (Fig. 32 c). En fin de période l'attédissement progressif des nuits limite le temps de condensation possible au sol, qui ne commence pas avant 2 ou 3 heures du matin. Mais, durant les premiers jours, le point de saturation est touché dès 24 heures et même dès 21 heures.

La différence entre les stations berrichonnes et nivernaise est exprimée avec beaucoup de netteté par les courbes d'humidité relative (Fig. 30 e) qui, pour Bourges et Châteauroux, ont une forme de pic, alors que celle de Nevers est tronquée.

Le contraste se justifie par la baisse de température plus accentuée dans le creux de Marzy, où est localisée la station de Nevers (Fig. 30 c). L'effet topographique est manifeste; en augmentant l'importance des condensations occultes (1), il entraîne, en situation aérologique convenable, un écrêtement systématique de l'humidité de l'air.

### DISCUSSION:

Pourtant, en première analyse, les courbes de tension de vapeur de la séquence de temps étudiée ne paraissent pas confirmer cette conclusion. L'humidité absolue n'est pas au matin systématiquement plus faible à Nevers qu'à Bourges ou Châteauroux, bien que la moyenne de 6 heures soit très légèrement inférieure (11,7 mb contre 12,3 à Bourges et 12,5 à Châteauroux).

---

(1) - Des valeurs de 0,1 à 0,3mm sont couramment enregistrées au pluviomètre; elles ne constituent pas des références valables pour deux raisons:

- a) l'appareil est situé, non au sol, mais à 1,5m au-dessus;
- b) la surface du métal ne reproduit pas les conditions thermiques du sol.

RELIEF,TEMPERATURE,ROSEE ET HUMIDITE DE L'AIR

L'humidité absolue est moins massivement influencée que l'humidité relative par les variations de température.Outre les phénomènes locaux de condensation,d'évaporation,de transpiration,elle intègre de manière plus discernable les fluctuations synoptiques .Celles-ci paraissent effectivement diriger les variations de l'humidité absolue au-dessus du Berry;les courbes de Bourges et Châteauroux évoluent à peu près en synchronisme. La chute des tensions de vapeur par suite des condensations occultes est d'une ampleur limitée.

L'humidité absolue évolue à Nevers selon une courbe largement disharmonique .Les tensions vespérales sont régulièrement plus élevées (Tableau 5 et Fig. 30 d) .Durant la période du 23 au 28 août , les valeurs moyennes s'établissent pour les trois stations aux niveaux suivants:

|           | Châteauroux | Bourges | Nevers |
|-----------|-------------|---------|--------|
| 15 heures | 10,2mb      | 10,3mb  | 12,6mb |
| 18 heures | 11,2mb      | 11,5mb  | 14,7mb |

L'avantage diurne croissant de Nevers peut-il être imputé à l'action du relief,qui jouerait ainsi dans les deux sens alternativement?Il ne le semble pas;que les *maxima* de Nevers soient inférieurs à ceux du Berry n'est pas probant : l'évapotranspiration locale, en prenant des valeurs plus élevées, justifie une consommation accrue d'énergie,susceptible d'entraîner une baisse de température.Mais la poussée diurne d'humidité absolue est souvent bien forte.Elle est déphasée par rapport aux variations thermiques.Enfin,et c'est l'argument décisif,la montée de l'hu-

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

midité diurne n'est pas un caractère commun à l'ensemble des situations anticycloniques ; elle vaut seulement pour les situations estivales, non pour les séquences hivernales. C'est dire que, au moins pour l'essentiel, cet accroissement est à imputer à l'action de la couverture végétale comme facteur de l'évapotranspiration. C'est un problème qui sera examiné en détail.

Des chutes caractéristiques de la tension de vapeur peuvent être observées à Nevers en hiver. Ainsi en est-il par exemple au cours de la période de temps froid et ensoleillé du 21 au 25 janvier 1963 (1), où pendant les nuits du 23 au 24 et du 24 au 25, et le début des matinées suivantes, les conditions de saturation au sol sont réalisées pendant 18 heures à Nevers, 8 heures à Bourges, 1 heure à Châteauroux.

Mais c'est en été que l'évolution nocturne de l'humidité de l'air est la plus frappante, parce que les tensions de vapeur diurnes atteignent des valeurs élevées. La chute inégale de température efface pendant la nuit l'enrichissement en vapeur d'eau à l'avantage de Nevers permis pendant le jour par l'intensité de la transpiration végétale, et tend à rétablir chaque matin des conditions sensiblement homogènes sur l'ensemble de la région étudiée. Dans l'exemple retenu, les valeurs moyennes de l'humidité absolue sont, à 6 heures du matin, de 12,5 mb à Châteauroux, 12,3 à Bourges, 12,1 à Nevers. Que malgré ce mécanisme régulièrement répété, l'humidité moyenne reste pourtant à Nevers légèrement supérieure à celle du Berry, montre d'ailleurs toute

---

(1) - La description de cette séquence figure au chapitre consacré à l'influence de la forêt sur le climat, p. 95.

RELIEF,TEMPERATURE,ROSEE,ET HUMIDITE DE L'AIR

l'importance de la végétation comme facteur climatique régional . Il sera revenu sur ce point après l'évocation du rôle du sol et des formations superficielles. Dans l'immédiat, il importe d'abord de souligner l'intervention du relief dans un écrêtement constamment renouvelé de l'humidité de l'air en période anticyclonale: le fait apparaît comme une des données originales du climat du Nivernais.

2° - LE ROLE DU SOL

L'action du sol et des formations superficielles sur le climat peut s'exprimer de diverses manières: modification de l'hygrométrie, variation thermique des basses couches de l'atmosphère, transmises plus ou moins haut, déclenchement, accélération, ou freinage de processus convectifs. Cette intervention joue de manière différente selon que le sol est couvert ou non; des interférences se produisent avec les effets propres de la couverture végétale, comme avec ceux du relief.

A l'échelle locale du climat, lorsque les conditions topographiques et la végétation présentent une suffisante homogénéité, il est sans doute légitime d'imputer au sol des différences de nature essentiellement thermique . A l'échelle de la région, l'établissement de la part respective des divers facteurs est beaucoup plus aléatoire . Pédelaborde a souligné que, dans le cadre du Bassin Parisien, " la nature du sol est un facteur secondaire, qui ne s'exerce qu'en masses d'air calme et qui ne domine

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

jamais " (1). L'action du sol, comme celle de la végétation d'ailleurs, se situe en effet dans la perspective des discontinuités horizontales qui engendrent les effets d'oasis ; dans le cas de masses d'air non stagnantes, l'influence du sol est oblitérée du fait même qu'elle se manifeste dans un espace décalé par rapport au périmètre causal, et son interprétation devient douteuse.

Dans la région étudiée, rares sont les situations dans lesquelles un " effet de sol " se manifeste sans ambiguïté.

### Les " Tendances steppiques " de la Champagne berrichonne

Depuis Vacher (2), on a volontiers affirmé les "tendances steppiques" de la Champagne berrichonne, dont l'aspect dénudé, largement d'origine anthropique, constitue une cause autant qu'une conséquence des conditions climatiques.

L'argumentation fondée sur la naturalisation d'une espèce Est-méditerranéenne, *Farsetia clypeata* (L.) R. Br., (Herbe des Croisades, Herbe de Jérusalem), qui toujours très localisée n'a jamais été qu'une curiosité historique autant que botanique est peu convaincante. Beaucoup plus significatives sont :

- la localisation d'espèces plus banales, et pour autant nettement xéro-thermophiles,
- l'étendue importante couverte par la chênaie pubescente,

---

(1) - Pédelaborde P., 1957.

(2) - Vacher A., 1908.

## LE ROLE DU SOL

- et plus encore, la présence de deux véritables causses, celui de la Périssse, près de Dun-sur-Auron, et celui de la Chapelle-Saint-Ursin - Morthomiers, dont la végétation offre quelques affinités avec celle des Grands Causses, et beaucoup plus avec celle des Petits Causses et des plateaux calcaires du Poitou-Charentes. Les fruticées et les pelouses, qui en couvrent une très grande partie, sont installées sur des sols minces que crève souvent la dalle rocheuse de calcaire lacustre ludien. Elles sont riches en espèces qui, à des degrés divers, méritent d'être regardées comme laté-méditerranéennes, par exemple *Koeleria vallesiana* (Honck.) Bertol., - *Helianthemum canum* (L.) Baumg., - *Hysopus officinalis* L., - *Bombycilaena erecta* (L.) Smolj., méditerranéo-montagnardes (*Linum salsoloides* Lmk., - *Anthyllis montana* L., - *Inula montana* L.), sarmatiques (*Stipa pennata* L. - *Carex humilis* Leyss.), ou simples thermophiles de vaste répartition (*Euphorbia seguierana* Neck.)...

La présence de cette flore et l'aspect de la végétation sont les expressions concrètes des conditions de sol et de climat. La plaine berrichonne reçoit des précipitations médiocres (1): pour la période 1901-1950, la tranche annuelle est de 666 mm à Bourges, 684 à Issoudun, 730 à Châteauroux; de 1931 à 1960, la moyenne est de 675 à Bourges, 677 à Issoudun, 723 à Châteauroux. Les écarts sont de l'ordre de 10%.

Gay (2), analysant la longue série 1913-1962, conclut que la quantité des précipitations est un peu plus grande à Châteauroux, mais qu'il pleut un peu plus souvent à Bourges. Il insiste

---

(1) - Garnier M., 1966.

(2) - Gay F.P., 1966.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

sur l'irrégularité plus forte des pluies dans l'ouest de la Champagne, fâcheuse dans une optique agronomique ; sa statistique montre pour autant que l'année est généralement moins arrosée à Bourges.

Cette médiocrité des précipitations est aggravée pour la végétation par les défauts intrinsèques du sol : sa minceur, quelques centimètres parfois, sa forte teneur en cailloux limitent le volume de la réserve d'eau et facilitent l'enfouissement rapide d'une partie des pluies dans le substrat calcaire.

Surtout les circonstances sont telles que le sol exerce ici une véritable altération des conditions de climat dans le sens de l'aridité par son action thermique (1). Si le bilan diurne est difficile à établir, en raison de l'importance des échanges d'humidité et des échanges convectifs, pendant la nuit le rayonnement peut être considéré comme approximativement égal aux apports de chaleur vers la surface par conduction, celle-ci étant conditionnée par la densité, la chaleur spécifique, la conductibilité du sol ; la durée du rayonnement joue naturellement pour déterminer la quantité d'énergie émise. Les densités varient dans des limites assez étroites ; il n'en est pas de même des chaleurs spécifiques qui passent de 0,2 pour une roche calcaire à 0,9 pour certains sols mouillés ; l'effet de la conductibilité varie de son côté dans le rapport de 1 à 2, selon la nature

---

(1) - L'albedo du sol varie dans des limites fort larges, de 5 à 30% semble-t-il. Il en résulte que le facteur d'absorption du sol est nettement réduit par rapport à celui du corps noir. Il en est de même de son émissivité et de son émittance. Le sol a néanmoins les propriétés d'un corps gris (Perrin de Brichambaut C., 1963), c'est-à-dire que, par rapport au radiateur parfait son émittance est réduite en fonction de son émissivité, mais reste cependant proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue (loi de Stefan).



## LE ROLE DU SOL

des roches, selon aussi que le sol est sec ou mouillé (1). Ainsi se trouve justifiée l'absence de corrélation étroite entre la vigueur de l'insolation et la température du sol (2).

Les sols du Berry, par leur nature, par leur sécheresse, et encore par la généralité de leur mise en culture, qui en ameublissant la surface crée une discontinuité avec le sous-sol, sont propices à une oscillation thermique quotidienne prononcée, à laquelle les plantes doivent s'adapter, et qui pèse sur les processus d'évapotranspiration, au niveau de la strate herbacée principalement.

Pédelaborde a montré que les tendances steppiques du Berry ne sont pas de même nature que celles qui se manifestent sur d'autres régions dénudées du Bassin Parisien. Alors que sur la Beauce et sur la Champagne, l'aridité relative est surtout un effet du vent, sur la plaine berrichonne, dans des conditions d'abri aérologique, l'influence du sol révèle son efficacité.

Il ne semble pas toutefois que l'opposition entre Berry occidental et Berry oriental soit un fait indiscutablement établi : seule la partie de la plaine située au nord de Châteauroux serait une "trouée steppique", tandis qu'aux environs de Bourges, l'action du sol calcaire serait compensée par l'influence des secteurs de marécages et de forêts.

Le causse de la Chapelle-Saint-Ursin n'est pourtant qu'à quelques kilomètres à l'ouest de Bourges. Avec les défrichements

---

(1) - Le rayonnement varie proportionnellement avec la densité et la chaleur spécifique, mais seulement avec la racine carrée de la conductibilité. La durée n'intervient également que par la racine carrée du temps.

(2) - Demolon A., 1937.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

récents, la Champagne orientale ne tend-elle pas à prendre un aspect aussi dénudé que le reste de la plaine ? Les conclusions tirées de l'étude de la série de Sanson (1) sont d'ailleurs plus ou moins infirmées (Fig. 33, p. 37) par l'analyse des chiffres de Garnier (2).

L'été de Châteauroux M.N. (3) demeure très légèrement plus chaud que l'été de Bourges M.N. (3); il l'est un peu moins que celui de Bourges-Observatoire. La supériorité d'amplitude ne paraît pas mieux établie au profit de l'une ou l'autre des stations.

Que l'appréciation des nuances qui distinguent les régimes thermiques berrichons diffère selon les périodes de référence n'est pas surprenant, étant donné d'une part qu'il ne s'agit que d'écarts médiocres, d'autre part que les combinaisons de facteurs qui interviennent dans la marche des températures peuvent marquer alternativement la primauté de l'un d'entre eux.

C'est la plaine berrichonne dans son ensemble que les conditions de sol contribuent à menacer d'aridité : l'appréciation de la tendance steppique sera tentée au chapitre évapotranspiration. Dans l'immédiat, l'opposition demeure entre Berry et Nivernais.

---

(1) - Sanson J., 1945.

(2) - Garnier M., 1964.

(3) - M.N. = poste d'observation de la Météorologie Nationale.

## LE ROLE DU SOL

### Sols et brouillards

Un effet de sol paraît avoir également une part décisive dans la réalisation de certaines situations de brouillard.

D'après leur localisation topographique et leur étendue, les brouillards se répartissent dans la région en quatre catégories: brouillards de fond de vallée, uniformément étalés, ou fragmentés en petits bancs, léchant le sol, ou suspendus à 0,50m - 1m de haut; brouillards accrochés à flanc de coteau, comme ceux qui de temps à autre enveloppent le vignoble du Sancerrois, épargnant les vallons de Bué et de Chavignol, tandis que les buttes et le plateau sommital des Champions (1) resplendissent au soleil; brouillards couronnant les hauteurs en débordant un peu sur les versants, tandis que les vallées sont seulement dans la grisaille; brouillards généralisés.

Sans revenir sur les mécanismes généraux de formation des brouillards, il y a lieu de souligner deux situations intéressantes qui révèlent l'importance des effets de sol:

Sur le plateau nivernais, les brouillards semblent particulièrement fréquents et tenaces dans les secteurs où les mares sont nombreuses et où le sol présente couramment une hydromorphie développée.

C'est à une influence de même nature, mais combinée avec un effet d'oasis que l'on peut rapporter certaines occurrences de brouillard de la région de Bourges - Avord: fréquemment la brouée

---

(1) - commune de Menetou-Ratel.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

qui couvre le Berry oriental est précédée par l'apparition du même phénomène sur la région de Romorantin, 60km au Nord-Ouest. Cette évolution se réalise dans le cas de vent faible de Nord-Ouest. Le processus d'advection lente apporte alors sur la plaine berrichonne un air saturé d'humidité au cours de son passage au-dessus des étangs et des sols gorgés d'eau de la Sologne. L'effet de sol est ici de nature hygrométrique, et il est nettement décalé dans l'espace. Le Berry de Châteauroux se trouve dans une situation analogue par rapport à la Brenne par faible vent d'Ouest à Sud-Ouest.

## 3° - LE ROLE DE LA FORET

Le rôle des formations végétales et particulièrement de la forêt, comme facteur du climat régional ne se laisse pas discerner aisément (1). Outre l'habituelle difficulté liée aux interférences causales, il est nécessaire de distinguer nettement toute influence de portée véritablement régionale des effets de nature microclimatique.

D'autre part, les données utilisables sont entachées d'une certaine équivoque. Par le voisinage et la disposition des massifs boisés, la station de Nevers M.N. est certainement celle qui est la plus influencée par la forêt; de tous les côtés, c'est de "l'air forestier" qui est apporté. Mais c'est au prix d'une schématisation excessive que Bourges et Châteauroux peuvent

---

(1) - Mascart J., 1933; - Carton P. et Sallenave P., 1939-1940; - Doignon P., 1946, -1948, -1951; - Wolkowitsch M., 1958.

## LE ROLE DE LA FORET

être considérées comme stations de plaine nue:Châteauroux-Déols est à moins de 10km de la forêt;l'advection d' "air forestier " n'y est exclue qu'en régime de Nord à Nord-Est;de même,les étendues boisées sont largement développées à une douzaine de kilomètres au Nord de Bourges ; dans les autres directions des bois moins vastes existent .Il convient donc d'observer au départ,que la comparaison des trois stations distinguera des degrés inégaux dans l'éventuelle influence de la forêt ,plutôt qu'une véritable opposition entre un domaine forestier et une étendue steppique ; les conclusions risquent de ce fait de voir leur portée soit limitée,soit au contraire renforcée.

## Forêt et Circulation atmosphérique

### L' EFFET DE BRISE - VENT:

Les données numériques manquent pour définir l'effet de brise-vent,puisque seules les stations M.N. font des mesures de vitesse .La comparaison des chiffres enregistrés respectivement à Châteauroux,Bourges et Nevers semble *a priori* donner une indication précieuse:les vitesses sont très supérieures au-dessus de la Champagne berrichonne .Mais il faut tenir compte que,pour toutes les directions,l'abri topographique joue dans le même sens que l' action de la végétation ; les données sont donc dépourvues de signification claire .Toutefois,l' efficacité de la forêt se trouve concrètement démontrée par un simple parcours

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

au sommet d'une butte herbeuse, toujours beaucoup plus venteuse que l'environnement boisé (1).

Les études sur les brise-vents ont montré qu'ils créent deux zones de calme atmosphérique, l'une au vent, étroite (sa largeur est du même ordre de grandeur que la hauteur du brise-vent), l'autre derrière l'obstacle, quinze à vingt fois plus étendue (2). L'efficacité de l'abri ne dépend pas seulement de sa hauteur ; l'effet protecteur ne joue pleinement que si la longueur de l'abri atteint une douzaine de fois cette hauteur. La réduction de vitesse du vent, qui est naturellement dépendante des conditions météorologiques, est largement influencée par la perméabilité du brise-vent, fonction entre autres choses de son épaisseur : pour cette raison, l'action des grandes surfaces boisées ne peut être assimilée à celle d'un écran ordinaire.

Nägeli (3) a estimé la réduction de vitesse derrière une bande boisée de 600m de large par rapport au mouvement sur les campagnes voisines ; en grossière approximation, les données qu'il fournit signifient que la violence du vent est réduite de près de moitié jusqu'à quelque 150m de la lisière, mais qu'à 600m l'avantage devient très faible. En bref, la protection exercée par les grands massifs forestiers n'a aucune commune mesure avec leur étendue ; sans extrapoler les mesures de Nägeli, l'expérience courante suffit à montrer que l'effet d'abri se localise essentiellement sur les deux ou trois premières centaines de mètres.

---

(1) - Les buttes de la région de Varzy constituent un bon champ d'observation.

(2) - Bibliographie dans Guyot G., 1964.

(3) - Nägeli W., 1953.

## FORET ET CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

Cependant, à l'Est de la Loire, plus exactement à partir de la bande boisée installée sur les sables mio-pliocènes qui constitue la vraie limite entre Berry et Nivernais (1), la disposition des forêts, qui reproduit celle du relief, réalise une série d'abris échelonnés, d'efficacité accrue.

### FORET ET VENT GEOSTROPHIQUE:

Les modifications dans l'écoulement de l'air provoquées par cette ordonnance du paysage se transmettent de proche en proche jusqu'au vent géostrophique. Si l'on adopte les chiffres de Jensen (2), d'après lesquels un trajet d'une trentaine de kilomètres au-dessus d'une région à macro-rugosité, ou même ceux un peu plus élevés de Kaiser, soit 50 à 100 km (3), suffit à altérer de façon définitive le vent géostrophique, les collines boisées du Nivernais pourraient être considérées comme un facteur non négligeable à l'égard de la circulation générale. Il est toutefois probable que la forêt est moins efficace que le relief.

Naturellement, au niveau des microclimats, l'effet de brise-vent entraîne, en forêt et hors forêt, une modification appréciable des conditions de température et des processus d'évapotranspiration.

---

(1) - Vacher A., 1908.

(2) - Jensen M., 1954.

(3) - Kaiser M., 1959.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

### Forêt et humidité climatique

Suivant Pédelaborde, dans le cadre du Bassin Parisien, c'est grâce à la "quasi-continuité de la couverture végétale" que la faiblesse pluviométrique n'aboutit jamais à l'aridité. En fait l'action de la forêt peut se situer à trois niveaux.

- y a-t-il une influence de la forêt sur la pluviosité?
- quelle valeur atteint l'interception des précipitations par la végétation forestière?

Mais c'est un phénomène qui se situe à une échelle intermédiaire entre l'échelle locale et l'échelle micro-climatique et contribue à définir le "climat interne" de la forêt: il sera examiné ultérieurement (1).

- quelles sont les relations entre la forêt et l'état hygrométrique de l'air, et quelle est leur signification régionale?

### LE BILAN PLUVIOMETRIQUE DE LA FORET:

Depuis les observations de Mathieu (2) en Forêt de Haye, la littérature sur ce sujet est fort abondante; le problème a été étudié dans des conditions climatiques très diverses; les conclusions ont été formulées tantôt dans le cadre de climats lo-

---

(1) - cf. chapitre 2, p. 129 sq.

(2) - Mathieu A., 1878.



## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

caux, tantôt généralisées à l'échelle d'une région, voire d'un continent.

La controverse reste ouverte. Toute une école (1) estime que la forêt accroît notablement les précipitations, localement ou régionalement, l'ordre de grandeur du supplément pluviométrique étant de 15 à 20% (2). Un exemple convaincant de l'action efficace de la forêt est cherché au Danemark: la tranche annuelle de pluie s'y élève de 700mm, pour la période 1901-1930, à 760mm pour l'intervalle 1931-1960, en relation avec les boisements réalisés dans le Jutland (3).

Une autre thèse veut que la forêt n'entraîne aucun accroissement de la pluviosité, ou à la rigueur un accroissement très faible (4). Selon Noirfalise (5), l'excédent d'une région boisée sur une région entièrement déboisée serait de 1/50; compte-tenu des erreurs de mesure, un tel écart ne saurait raisonnablement être pris en considération. Rutter (4) pense que c'est seulement dans des situations particulières qu'on a pu conclure à l'action déterminante de la forêt, et que dans la généralité des cas, l'excédent des précipitations est justiciable d'autres explications. Cela revient à dire que la forêt ne détermine pas l'abondance des précipitations, mais qu'elle se trouve dans de bonnes conditions de développement parce que le climat est humide.

---

(1) - cf. Biolley, 1934, Doignon P., 1948 b.

(2) - Doignon P., 1948.

(3) - Guyot G., 1968.

(4) - Rutter A. J., 1967.

(5) - Noirfalise A., 1959.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

En plus des observations concernant l'ensemble du Bassin Parisien, la pluviométrie des régions forestières a fait l'objet de recherches dans des périmètres inégalement étendus. Dans la partie centrale du bassin, caractérisée par une faible quantité de pluies (1), Doignon, analysant l'influence du grand massif de Fontainebleau (2), conclut à la réalité d'un "sylvo-climat", notamment à la modification profonde du régime pluviométrique régional: le sylvo-climat n'échappe pas à l'ambiance de la province séquanienne; il reste soumis aux mêmes mécanismes généraux; mais il se distingue par une augmentation des précipitations, d'autant plus grande que l'année est plus pluvieuse, et par une durée des pluies prolongée.

Dans la région ou à ses confins, des observations sur la pluviométrie ont été effectuées sur la Forêt de Tronçais -Allier- (3), sur les massifs boisés du Berry occidental (4), sur la Forêt d'Othe et la Puisaye (5).

En Tronçais, une statistique portant sur seize ans donne un excédent de précipitations dans la partie centrale ("les Landes blanches"), de 3% sur la lisière Est (la "Corne de Rollais"), et de 8% sur les régions agricoles voisines (finage de Franches-se).

C'est à des conclusions plus nuancées qu'arrive Wolkowitsch en ce qui concerne la Forêt de Châteauroux et ses annexes. Il

---

(1) - Pédelaborde P., 1957.

(2) - Doignon P., 1948.

(3) - Bramard A., 1957.

(4) - Wolkowitsch M., 1958.

(5) - Bony J., 1951.

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

relève une certaine correspondance entre le tracé des isohyètes annuelles et les limites forestières ; dans le massif de Bom-miers, il constate une pluviosité accrue sur la lisière Ouest, tandis que les stations situées à l'Est de la forêt connaissent un effet d'abri. La Forêt de Lancosme est plus arrosée que la Brenne des étangs. Mais Wolkowitsch hésite à attribuer à la végétation la responsabilité intégrale de ces nuances climatiques, et souligne que des accidents topographiques et des limites géologiques, par leur interférence empêchent d'établir des relations simples de cause à effet.

La question n'est pas plus claire sur le point particulier des précipitations orageuses : Doignon pense que la Forêt de Fontainebleau réduit le nombre des orages ; Bramard et Wolkowitsch observent que ceux-ci affectent surtout les bordures Nord et Sud de la Forêt de Tronçais, beaucoup moins l'intérieur du massif et les régions situées à l'Est : il y aurait un effet de déviation, sans qu'on puisse l'attribuer avec certitude à la forêt ou à la topographie. Estienne (1) relève la rareté de la grêle autour de cette même forêt. Par contre, Wolkowitsch met l'avantage pluviométrique de la Forêt de Châteauroux au compte de la fréquence des orages, fréquence qu'il justifie toutefois par l'effet de canalisation de la vallée de l'Indre.

Bony, notant la faible pluviosité du mois de juin au-dessus de la Forêt d'Othe, et à un moindre degré au-dessus de la Puisaye, relie le petit nombre des orages associés à des nuages locaux du type *Cumulus congestus* ou *Cumulo-nimbus*, à la stabilité accrue des masses d'air au-dessus des bois, par suite d'une di-

---

(1) - Estienne P., 1956.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

minution de température, elle-même conséquence de l'intensité de l'évapotranspiration réelle (1). Il est vrai que le phénomène peut être atténué ou annulé par les actions topographiques, ce qui est souvent le cas au-dessus du Nivernais.

Le bilan pluviométrique de la forêt reste, dans les limites de la région, entaché de l'incertitude qui pèse sur lui dans des cadres plus vastes. Cette situation tient au fait que les effets aérologiques des bois, rugosité accrue, ascendance consécutive, subsidence par action thermique, participent de la multiplicité des occurrences synoptiques réelles. Il est à craindre que la seule considération des normales ne constitue pas une approche correcte de la question. Malheureusement, les caractères de la région, et notamment les correspondances entre la répartition de la végétation et la topographie, ne permettent pas de distinguer à l'échelle des types de temps le rôle qui revient à l'un et à l'autre facteur.

On peut seulement observer que sur la durée de la phénophasse feuillée, environ 20 décades sur 36, soit 55 % de l'année, les quantités d'eau reçues au sol, au cours de la période 1963-1967, ont été, pour des stations (2) situées dans l'emprise des bois (Prémery-le Chasnay et Raveau-l'Usage défendu), de 45 % à 2/3 du total annuel, à Nevers, dans l'ambiance forestière, mais hors de la forêt, de 53 à 62 %; à Bourges, le taux a varié de 53 à 57 %; à Châteauroux, il a oscillé entre 48 et 61 %. Les écarts ne semblent pas probants.

---

(1) - cf. p. 116 sq.

(2) - postes météorologiques provisoires, enregistrant précipitations, température et évaporation au tube de Piche.

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

Sur les mois de juin à septembre, c'est-à-dire pendant la période où le couvert forestier atteint sa plénitude, et où la transpiration est maximale, la fraction des pluies annuelles reçue n'est pas systématiquement plus élevée en Nivernais ou en Berry.

Les taux de précipitations hivernales (de novembre à mars), les moins susceptibles d'être affectés par une éventuelle action de la forêt, ne présentent pas non plus, sur le court délai de l'étude, de tendances significatives : à Bourges, les fluctuations sont très limitées, à Nevers, la fourchette dépasse 10%, sur le plateau forestier (Prémery et Raveau) le pourcentage va de 30 à 50%.

Cette série d'observations constitue, semble-t-il, au moins l'indication que, dans le cadre régional, l'action de la forêt sur la pluviométrie est secondaire par rapport à celle des autres facteurs qui influencent le bilan.

## FORET ET HYGROMETRIE:

Si l'action de la forêt sur la pluviosité est difficile à établir objectivement, les données de la physique conduisent à penser que, en période de végétation, les bois fournissent aux masses d'air qui les baignent une quantité d'eau plus grande que les formations herbacées ou les cultures. Le phénomène, accusé dans les heures qui suivent les précipitations, grâce à la vaporisation de l'eau de rétention des couronnes se poursuit dans le temps.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Le mécanisme d'évapotranspiration obéit en effet aux lois de la balance d'énergie; la chaleur dissipée par la transformation de l'eau en vapeur est fournie en premier lieu par le rayonnement incident net, en second lieu par un terme advectif lié à la mobilité de l'atmosphère.

Par rapport aux autres formes de végétation, et notamment par rapport aux prairies, la forêt présente plusieurs particularités. La surface foliaire réalise une couverture du sol qui tend vers la perfection; l'albedo des couronnes est nettement plus faible, et l'énergie absorbée donc plus grande; la rugosité est plus élevée. Ces conditions font que le terme advectif et le terme radiatif de la balance d'énergie sont mieux utilisés par la forêt que par les surfaces gazonnées. Les études effectuées dans diverses régions tendent à démontrer que la forêt évapore effectivement plus que l'herbe; dans le cas des conifères, dont la transpiration se poursuit toute l'année, le bilan égalerait ou même dépasserait l'évaporation au-dessus d'une nappe d'eau libre. Pour les feuillus, l'expérience de la station de Castricum (Pays-Bas) donne une évapotranspiration forestière supérieure aux 4/5 du transfert au-dessus de l'eau libre, alors que le rapport pour la prairie est généralement situé à 75 % (1).

Considérée non plus dans sa valeur globale mais dans ses fluctuations à courte période, l'évapotranspiration de la forêt présente un rythme propre; la rétention d'eau par les couronnes contrarie la reconstitution de la réserve du sol, mais réduit aussi la quantité perdue par ruissellement ou infiltration; dans

---

(1) - Rutter A.J., 1967.

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

le même temps, la fraction des précipitations interceptée par le feuillage se trouve dans des conditions qui ne sont pas celles d'une nappe d'eau libre, mais ne comportent pas les forces de freinage qui jouent lorsque l'eau pénètre dans le sol; de façon concomitante, la vaporisation directe réduit la transpiration et les prélèvements sur la réserve du sol, par abaissement de la température et réduction du pouvoir évaporant de l'air.

Sans pousser dans l'immédiat l'analyse de ce complexe d'actions qui interviennent dans la satisfaction des besoins en eau de la forêt (1), il paraît logique de conclure que l'air, au-dessus de la forêt est moins sec par temps sec, plus humide par temps pluvieux.

Ainsi pourrait se résoudre la contradiction des points de vue sur la pluviosité des régions boisées, l'avantage hygrométrique ne jouant que dans la mesure où les conditions aérologiques le permettent, c'est-à-dire seulement quand règnent au-dessus de la forêt des conditions d'ascendance (sans qu'elle en soit nécessairement la cause): dans ce cas, et sans doute dans ce cas seulement, la forêt semble susceptible de prolonger la durée de la pluie et d'augmenter le total des précipitations, en comptabilisant plusieurs fois l'eau retenue par les couronnes.

Les observations de Doignon (2) paraissent à première vue s'inscrire en faux contre cette idée; l'auteur indique que "la normale hygrométrique du mésoclimat fontainebleaudien est inférieure (de 2,4%) à celle du macroclimat séquanien".

---

(1) - cf. Chapitre 2, p. 210.

(2) - Doignon P., 1951.



## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

La comparaison n'est malheureusement pas faite avec des stations proches, et il est difficile d'accepter les valeurs de la " Région parisienne " comme représentatives du macroclimat.

Doignon note par ailleurs que l'influence de la forêt, sous laquelle la normale hygrométrique est plus élevée, tend à réduire " l'écart méso - macroclimatique ", et enregistre la complexité des facteurs qui pèsent sur l'humidité relative.

Qu'il y ait, en air calme, une discontinuité horizontale dans l'hygrométrie, s'accorde avec la position en clairière du poste de Fontainebleau, le dispositif d'abri végétal ayant des conséquences de nature semblable à celles de l'abri topographique(1); le fait n'implique pas pourtant l'existence d'une discontinuité analogue au-dessus de la forêt. Mais le renouvellement de l'air est générateur d'effets d'oasis, qui étendent aux régions proches le bénéfice d'une tension de vapeur accrue.

Les compensations de facteurs qui interviennent au niveau des moyennes conduisent à préférer l'examen de situations réelles pour définir les relations entre humidité de l'air et taux de boisement. Dans le Sud du Bassin Parisien, cette approche de la question permet de dégager l'existence d'une large uniformité hygrométrique pendant la saison hivernale, tandis que durant la saison de végétation s'affirme un double contraste: humidité plus grande du plateau oriental, rythmes différents de la variation diurne à l'Ouest et à l'Est.

---

(1) - la situation orographique joue aussi son rôle.



## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

### *L'Hygrométrie régionale en hiver:*

1er exemple: LA PERIODE DU 2 AU 13 JANVIER 1964:

Du 2 au 13 janvier 1964, une période de temps gris et froid correspond, au sol, à une situation anticyclonique sur l'ensemble de l'Europe Occidentale; la hausse de pression, du 2 au 4, est liée à un flux d'air de Scandinavie, cependant qu'une advection chaude se développe en altitude. A partir du 5, des masses d'air maritime de Nord sont attirées sur la France par une cyclogenèse peu active associée à la formation d'une goutte froide en altitude, centrée sur le Danemark. Le processus est ensuite entretenu par l'interférence de cette dépression avec une perturbation apparue au Sud de Terre-Neuve et qui, par l'Islande, a gagné la Scandinavie.

Dès le 3 janvier, il gèle; jusqu'au 6, le froid n'est pas très dur; l'amplitude diurne est peu accentuée (3 à 4°), le réchauffement pendant la journée étant limité, en raison du temps couvert; les 7 et 8 la continentalisation de l'air maritime s'exprime par des *minima* de rigueur croissante et par une augmentation de l'amplitude, surtout à Nevers, où elle atteint 11 et 13°; l'arrivée d'air maritime rétablit le régime de froid modéré à écart nycthémeral réduit, jusqu'au réchauffement éphémère amorcé le treize (Fig. 34 c, p. 39).

Brume, brouillard, nuages, réduisent l'ensoleillement à 14 h à Châteauroux sur plus de 56 h possibles, à moins de 7 h à Bourges,

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

à 6 h $\frac{1}{4}$  à Nevers (Tableau 6, p. 40-41 et Fig. 34). Mais les précipitations sont insignifiantes jusqu'au 12 (0,1mm et seulement à Nevers); de faibles chutes de neige, nappant le sol sur 2 à 3cm d'épaisseur se produisent alors (Fig. 34b); avec le réchauffement du 13, la pluie leur succède.

En ce qui concerne l'humidité absolue, les conditions régionales sont remarquablement homogènes (Fig. 34 d). Les écarts enregistrés sur la tension de vapeur sont le plus souvent de quelques dixièmes de millibars; les fluctuations sont de même sens tout au long de la période pour les trois stations de Châteauroux, Bourges et Nevers; elles expriment surtout les pulsations de l'alimentation en air maritime dégradé, et l'écrêtement de l'humidité de l'air par les condensations sous forme de brouillard ou de brume.

Elles intègrent aussi de faibles apports locaux d'évaporation, qui tempèrent la diminution de la tension de vapeur; le pouvoir évaporant de l'air (1), malgré le froid, n'est pas en effet constamment nul. Ainsi, du 6 au 9 (Fig. 35, p. 42), des valeurs instantanées de  $E_a$  équivalant à une évaporation quotidienne de l'ordre du millimètre sont fréquemment enregistrées; à Bourges, le seuil de 2 mm est même accidentellement franchi.

Ces apports compensent en partie la continentalisation plus marquée au-dessus du Berry oriental et du Nivernais qu'au-des-

---

(1) - Le pouvoir évaporant de l'air ( $E_a$ ), est fonction de la vitesse du vent et du déficit de saturation:

$$E_a = f(v) \cdot (e_w - e)$$

(cf le chapitre évapotranspiration).

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

sus du Berry occidental, ainsi que l'attestent à la fois le rythme thermique plus heurté et la chute plus sensible de l'humidité relative (Fig. 34 c et e).

Aussi les valeurs de tension de vapeur, calculées sur la séquence du 2 au 8 sont-elles très proches: 5,2mb à Nevers, 5,5 à Bourges, 5,6 à Châteauroux. L'hygrométrie moyenne, tout en enregistrant l'originalité du Berry de l'Ouest, reste comprise dans une fourchette étroite: 96 à Châteauroux, 91 à Nevers, 90 à Bourges.

Les différences, qui tendaient à s'accentuer dans la phase de continentalisation progressive, s'atténuent avec le développement des advections d'air maritime: le fait apparaît aussi bien dans la comparaison des moyennes,

|             | tension de vapeur | humidité relative |
|-------------|-------------------|-------------------|
| Châteauroux | 5,4mb             | 94,7%             |
| Bourges     | 5,4mb             | 90,0%             |
| Nevers      | 5,3mb             | 91,1%             |

que dans celle des valeurs instantanées. L'homogénéité régionale du régime d'humidité, un instant compromise, se trouve rétablie.

### 2ème exemple: LA SEQUENCE DU 16 AU 26 JANVIER 1963:

La longue période froide, qui débute sur le Centre le 11 janvier pour se terminer le 6 février, comporte une succession complexe de situations. Un important anticyclone dynamique, axé sur l'Atlantique Nord, dirige sur la France des masses d'air arctique

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

continentalisé d'abord ( jusqu'au 13 ), puis maritime (les 14 et 15),entraînant une atténuation du froid . Une nouvelle chute de température se produit le 16,tandis que s'opère au sol la jonction entre l'anticyclone atlantique et les masses d'air scandinaves.

Jusqu'au 20,persiste un temps couvert;des passages frontaux donnent de faibles chutes de neige;le froid est rigoureux,mais la faiblesse du réchauffement diurne limite l'amplitude à 6-10° (Fig. 36,p. 43).Après le passage frontal du 20,le flux vigoureux de Nord - Est entraîne un retour brutal du froid;les *minima* sont très bas;malgré d'excellentes conditions d'insolation (44 h à Châteauroux,37 h à Bourges,35 h à Nevers,pour une durée d'éclairement de 45 h),la radiation directe ne parvient pas à faire remonter la température au-dessus de 0°,mais elle accroît sensiblement l'amplitude,qui dépasse 10° à Châteauroux,11° à Bourges,14° à Nevers (Fig. 36 et Tableau 7,p. 44-45).

A partir du 26,s'installe un régime d'apports répétés d'air maritime,par des perturbations de l'étage arctique;il en résulte une atténuation très sensible du froid nocturne,mais la remontée diurne est moins marquée,car le temps se couvre au passage des fronts (Fig. 36 a).Quelques chutes de neige se produisent même (Fig. 36 b).

Les caractères hygrométriques de cette période confirment les conclusions autorisées par l'analyse de la séquence du 2 au 13 janvier 1964.Les courbes de tension de vapeur sont remarquablement semblables pour les trois stations (Fig. 36 d).

Les pulsations correspondant à l'arrivée des masses d'air successives sont enregistrées de manière analogue;par exemple,le

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

passage d'un front d'occlusion, le 20, s'exprime avec une vigueur identique. La baisse de l'humidité absolue qui marque la continentalisation des masses d'air s'effectue aussi de façon très uniforme sur toute l'étendue de la région. Les fluctuations de l'humidité relative (Fig. 36 e) présentent moins de simplicité, mais encore une fois elles ne font que refléter les différences de régime thermique. Ainsi donc, lorsque des conditions hivernales dures viennent à s'établir, le régime climatique d'humidité place sous le signe de l'unité l'ensemble du Berry et du Nivernais.

### 3ème exemple: PERIODE DE TEMPS PERTURBE

DU 12 AU 21 FEVRIER 1964.

Du 12 au 21 février, le temps, maussade dans l'ensemble, qui intéresse la région, est lié d'abord à un courant d'Ouest qui tend à s'établir à la latitude de la France, mais ne comporte que des perturbations peu actives, avec des éclaircies; à partir du 15, le courant se décale vers l'Espagne dans un premier temps puis remonte vers le Nord, si bien que la région connaît successivement un régime de secteur froid, puis le passage de fronts d'occlusion, jusqu'à l'advection froide du 19 qui permet l'établissement temporaire de conditions anticycloniques et le retour, le 21, à un ensoleillement important (Tableau 8, p. 46-47) et Fig. 37, p. 42).

Le temps est plus humide que pluvieux; les perturbations ne donnent que des précipitations modestes, concentrées surtout sur la deuxième partie de la période (40mm à Châteauroux, 17 à Bour-

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

ges, 11 à Nevers) ; l'abondance diminue significativement d'ouest en est. Mais l'humidité relative moyenne s'établit à 85 % à Châteauroux, 81 % à Bourges, 80 % à Nevers. Les conditions de saturation se trouvent réalisées presque toutes les nuits. Les fluctuations de l'hygrométrie s'éclairent par comparaison avec l'évolution de la tension de vapeur et de la température : aux oscillations liées au rythme thermique quotidien se superposent les changements entraînés par la succession rapide des masses d'air ; quand le temps perturbé est momentanément interrompu, les 20 et 21, la chute brutale de la température maintient une humidité relative élevée, alors même que la tension de vapeur baisse rapidement (Fig. 37 c, d, e).

Sur l'ensemble de la période, les valeurs d'humidité absolue observées sont en conformité avec la disposition en longitude de la région. Elles confirment la décroissance de la pression partielle de vapeur d'Ouest en Est ; mais les écarts observés, s'ils permettent de déceler l'influence de la continentalité croissante, restent compris dans des limites suffisamment étroites pour que l'unité régionale du régime d'humidité paraisse plus importante que de menues différences.

### 4ème exemple : TEMPS PERTURBE DU 9 AU 20 FEVRIER 1963 :

Du 9 au 20 février 1963, le temps perturbé est caractérisé par l'évolution lente d'une série de fronts quasi-stationnaires, situation liée à une trajectoire méridionale des perturbations, dont la partie active circule de l'Atlantique à la Méditerranée, tandis que la partie nord subit des effets de blocage

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

de la part d'un anticyclone atlantico-européen. Le temps est très maussade; le ciel est couvert pendant la plus grande partie de la journée (sauf les 9, 10 et 14); l'ensoleillement représente respectivement 20, 13 et 10 % du *maximum* possible à Châteauroux, Bourges et Nevers (Tableau 9, p. 50-51 et Fig. 38, p. 49). Les précipitations intermittentes prennent forme de pluie, de verglas ou de neige; le temps est froid plutôt par l'insuffisance des *maxima* que par la faiblesse des *minima*, qui ne tombent franchement au-dessous de zéro que les 9, 14 et 20 février.

Du point de vue du régime d'humidité, les faits à retenir sont les suivants:

1 - la tension de vapeur moyenne est remarquablement égale pour l'ensemble de la région: 6,3 mb à Châteauroux, 6,4 à Bourges et à Nevers;

2 - les fluctuations de l'humidité absolue sont d'un synchronisme presque parfait (Fig. 38d), les noeuds de la courbe enregistrent les advections successives d'air humide.

Le graphique de l'humidité relative (Fig. 38e) montre que les masses d'air sont au sol le plus souvent proches de la saturation (taux moyen de 88,2% à Châteauroux, 88,6 à Bourges, 91,2 à Nevers). La chute diurne, liée à la montée en température, est de durée limitée. Le 14 est la seule journée sèche: la baisse du thermomètre, dans l'après-midi du 13 et la nuit suivante, accuse la continentalisation déjà amorcée les jours précédents.

Les situations hivernales qui ont été étudiées conduisent toutes à l'idée de l'unité de la situation en ce qui concerne les conditions d'humidité, pendant la saison de repos de la végéta-

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

tion, que la situation météorologique soit caractérisée par un régime anticyclonique ou par la succession de perturbations.

### *Une situation de fin d'hiver:*

Parmi d'autres situations de fin d'hiver, la période du 3 au 7 mars 1963 (Tableau 10, p. 52-53 et Fig. 39, p. 54) a été retenue parce que les conditions d'humidité ne paraissent pas de prime abord confirmer les conclusions tirées de l'observation des exemples précédents.

Après une séquence de temps froid anticyclonique développée depuis le 21 février, la France reste en marge du courant perturbé qui circule du large de l'Espagne à l'Irlande, et connaît un régime de flux d'Est à Sud, modéré ou faible (vents de 0 à 15-18 km/h). Les bonnes conditions d'insolation (Fig. 39 a) permettent une hausse prévernale des températures, les *maxima* passant en cinq jours de la fourchette 10-12° à la gamme 18-19°. En raison de l'intensité du rayonnement nocturne, les gelées persistent pourtant jusqu'au 6 (Fig. 39 c).

L'humidité absolue connaît, sauf le 6, des fluctuations quotidiennes bien marquées, et la hausse diurne de la tension de vapeur limite la baisse de l'humidité relative. De station à station, l'écart sur les valeurs instantanées varie de 0 à 2,5 mb, et des déphasages importants apparaissent entre les trois courbes d'humidité absolue, notamment les 4 et 6 mars (Fig. 39 d).

Ces faits ne doivent-ils pas amener à tenir les observations tirées des exemples analysés précédemment comme des coïn-



## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

cidences fortuites, dénuées de valeur générale?

Mais les courbes d'humidité relative conservent un synchronisme qui montre que les tensions de vapeur s'inscrivent dans un registre assez étroit pour que la marche des températures détermine celle de l'hygrométrie et suppose une relative homogénéité aérologique.

Les fluctuations du pouvoir évaporant de l'air (Fig. 39 f) sont également synchrones. Le terme advectif de l'évapotranspiration potentielle (1) va croissant, et atteint en fin de période des valeurs instantanées qui, si elles étaient soutenues dans le temps, équivaldraient à une évaporation quotidienne de 6 à 10mm. Les écarts sur les valeurs simultanées montrent que, compte non tenu du terme radiatif, l'évaporation potentielle de Nevers est généralement supérieure à celle de Châteauroux, et que celle de Bourges est presque toujours la plus forte. Le fait s'éclaire par référence à la situation synoptique: la région du Centre est en position marginale par rapport à l'anticyclone européen. Le Nivernais et le Berry oriental sont mieux et plus régulièrement alimentés en air continentalisé; le flux d'Est s'y maintient jusqu'au 7; par contre, le Berry de Châteauroux connaît occasionnellement des apports d'Ouest.

La séquence du 3 au 7 mars 1963 attire donc l'attention sur la complexité des facteurs qui règlent le régime d'humidité. Mais, finalement elle ne s'inscrit pas en faux contre l'idée de l'unité hygrométrique de la région durant la saison de repos de la végétation.

---

(1) - cf. chapitre 2, p. 215.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

### *L'hygrométrie régionale*

#### *en période d'activité de la végétation:*

A la simplicité des conditions hivernales s'opposent les contrastes de la phénophase feuillée. Pendant la période d'activité de la végétation, en régime non perturbé, la tension de vapeur est caractérisée par un rythme diurne bien marqué (1): deux *minima* correspondent, l'un à l'écèlement nocturne de l'humidité absolue lié à la baisse de température, l'autre aux heures chaudes de la journée, où la régulation stomatique ne permet pas à l'évapotranspiration de compenser la diffusion de la vapeur d'eau vers les couches élevées de l'atmosphère géographique; ils sont encadrés par un *maximum* de matinée, autorisé par l'intensité de la transpiration tant que la satisfaction de la demande en eau permet aux stomates de rester ouverts, et un *maximum* vespéral, qui correspond à la fois au ralentissement de la convection et à la reprise de la transpiration stomatique. Ce schéma général comporte des variantes, qui identifient un régime nivernais et un régime berrichon.

1er exemple: PERIODE DU 30 JUIN AU 8 JUILLET 1964:

Sur la région, du 30 juin au 8 juillet 1964, le temps est beau. La situation est commandée par un anticyclone centré sur le proche océan et constamment réalimenté en air maritime. Le

---

(1) - Burnackij D.P. et Rozhanskaja O.D., 1953.

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

gradient de pression est faible. Le 7 s'annonce le retour au régime perturbé.

Le ciel est dans l'ensemble bien dégagé (Fig. 40 a, p. 55 et Tableau 11, P. 56-57) et la durée d'insolation dépasse 110h (114 à Châteauroux, 111 à Bourges, 112 à Nevers), soit environ les 4/5 du *maximum* possible. Cependant quelques passages nuageux associés à des fronts froids se produisent.

L'évaporation est intense. Le Piche (1) de Bourges capitalise 59,3mm en 9 jours, de 5,5 à 8mm par 24 heures (Fig. 41, p. 42). Le degré hygrométrique s'établit en moyenne à 53,6 à Châteauroux, 52,6 à Bourges, chiffres très voisins, mais atteint 58,8 à Nevers. La considération des valeurs extrêmes montre que le *minimum* moyen de Châteauroux est le plus bas (30,5), celui de Nevers le moins accusé (34,8). Les *maxima* de Bourges sont nettement les plus faibles, ceux de Nevers les plus forts (Tableau 11). Ces données confirment l'opposition déjà signalée entre Berry et Nivernais; elles précisent le sens des nuances qui séparent la Champagne de Bourges, plus sèche en fin de nuit, et la plaine de Châteauroux, plus aride l'après-midi.

La variation du taux hygrométrique de l'air au fil des heures apporte d'autres enseignements. Jusqu'au 7 inclus, la courbe de Nevers enveloppe à peu près constamment celles de Bourges et Châteauroux. L'humidité relative plus élevée de Nevers en fin de nuit est en étroite corrélation avec l'importance du refroidis-

---

(1) - Les études de climatologie utilisent rarement les indications du tube de Piche. Les mesures ne fournissent pas directement la valeur de l'évapotranspiration, mais il est commode de suivre dans l'enchaînement des valeurs l'évolution du pouvoir évaporant de l'air (cf. chapitre 2).

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

sement nocturne dans cette station et la fréquence du phénomène d'inversion (7 jours sur 9). Que les *minima* soient souvent moins différents que les *maxima*, notamment le 1er et le 7, s'accorde également semble-t-il avec l'ampleur moindre des différences de température diurne à travers la région.

Mais, par delà les dissemblances d'origine thermique entre le régime de Nevers d'une part, ceux de Bourges et Châteauroux -généralement proches- d'autre part, les trois courbes enregistrent l'identité des masses d'air qui intéressent la région: ainsi se justifie par exemple le crochet qui caractérise la nuit du 4 au 5. On retrouve l'idée de l'homogénéité régionale des conditions d'humidité.

La marche des tensions de vapeur montre pourtant que par rapport à l'hiver un facteur supplémentaire intervient dans leur définition, bien que sur l'ensemble de la période les moyennes d'humidité absolue diffèrent peu (11,08 mb à Bourges, 11,16 à Nevers, 10,64 à Châteauroux).

Les pressions partielles de vapeur en fin de nuit (Fig. 40 d) sont généralement très proches à Bourges et Châteauroux, et les oscillations diurnes sont à peu près simultanées. Au petit matin l'humidité absolue est sur le Berry, soit égale à celle de Nevers, soit supérieure. Pendant les heures de jour au contraire, les chiffres de Nevers sont presque en permanence plus élevés. En l'absence de justification de nature aérologique, il paraît difficile de ne pas imputer ce supplément de vapeur d'eau à la transpiration des masses forestières avoisinantes, conjuguée avec un effet d'oasis plus caractérisé pendant le jour que pendant la nuit.

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

Les nuances qui distinguent Bourges et Châteauroux par régime de Nord à Nord-Est pourraient se comprendre de la même manière par des apports d'humidité venus des régions forestières de l'argile à silex.

La journée du 8 est marquée par des conditions d'humidité différentes de celles qui viennent d'être décrites: le fait n'infirmes pas le schéma proposé, puisque aussi bien la situation météorologique est profondément transformée.

### 2ème exemple: SEQUENCE DU 23 AU 27 AOUT 1964:

La séquence anticyclonique du 23 au 28 août, dont les caractéristiques ont déjà été établies (1) confirme les conclusions de l'exemple précédent (Tableau 5, p. 34-35 et Fig. 30, p. 36).

Le rythme de l'humidité absolue comporte à Nevers des phases très nettes, conformes au canevas défini. L'enrichissement de l'air en vapeur d'eau se développe pendant la matinée, jusque vers 9h, rarement jusqu'à midi (2). La baisse diurne est centrée en principe sur la période midi-quinze heures, puis la tension remonte jusqu'à la tombée de la nuit.

Au-dessus du Berry, la poussée matinale est moins accentuée, la chute diurne beaucoup plus prononcée, beaucoup plus étalée dans le temps. La remontée vespérale, faible, a tendance à se prolonger sur les premières heures de la nuit au moins, sinon sur la nuit entière; en dehors des apports advectifs, cette humidi-

---

(1) - cf. p. 68.

(2) - des observations intermédiaires, vers 11h, seraient assurément souhaitables, et entraîneraient probablement quelques retouches.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

té est alimentée par l'évaporation de l'eau du sol et par la transpiration cuticulaire. La diffusion vers l'atmosphère est alors ralentie. Surtout, différence essentielle avec Nevers, l'écrêtement nocturne par les condensations occultes n'a pas lieu ou est limité. C'est à ses nuits tièdes que le Berry doit de ne pas être plus sec pendant la journée.

Mais le bilan de l'humidité absolue en fin de journée est largement à l'avantage de Nevers (1).

### 3ème exemple: PERIODE DU 7 AU 22 AOUT 1964:

Du 7 au 22 août, Berry et Nivernais sont affectés par une période de temps orageux qui peut se décomposer en trois phases (Tableau 12, p. 58-59, -Fig. 42, p. 42 et 43, p. 60).

Du 7 au 11, le ciel est largement couvert (Fig. 43 a); la durée moyenne d'insolation dépasse à peine 4h à Châteauroux et frôle seulement 3h à Bourges et à Nevers (20% du *maximum* possible). Les précipitations sont localement abondantes, notamment le 9: 25mm à Bourges, 30 à Nevers. L'évaporation est limitée: le Piche de Bourges (Fig. 42) perd en moyenne moins de 2,5mm par jour. Les températures diurnes sont médiocres; pendant 4 jours, les *maxima* ne dépassent pas 21°. L'amplitude est restreinte (10-11°).

Du 12 au 16, le ciel est nettement plus dégagé et il ne pleut pas (Fig. 43 b), le Centre étant en marge de la situation ora-

---

(1) - le vent diurne est tel (3 m/sec. à Nevers, 5 à 6 à Bourges, 7 à Châteauroux) que les trois stations M.N. apparaissent comme indiscutablement représentatives des conditions régionales.

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

geuse axée sur l'Espagne. La durée d'insolation atteint 55 à 60% du *maximum* possible. L'invasion polaire postérieure au front orageux, qui est responsable de l'amélioration du temps, entraîne une baisse sensible des *minima* en début de phase, mais l'insolation permet un réchauffement progressif des masses d'air quasi-stationnaires; dans ces conditions, l'évaporation augmente (3,5mm par jour en moyenne au Piche de Bourges).

Dans la troisième phase qui, à partir du 17, voit les tendances orageuses, un moment estompées, s'affirmer de nouveau, les précipitations sont peu abondantes. L'évaporation garde une valeur élevée, la plus importante même de la période du 7 au 22 (4,2mm au Piche, -Fig. 42), mais marque une tendance à la baisse, nette et régulière, sans rejoindre cependant les valeurs de la première période. Cette persistance d'une évaporation active retient d'autant plus l'attention que dès le 18, les conditions thermiques se sont nettement détériorées, avec une perte sur les *maxima* (Fig. 43 c) de l'ordre de 8° par rapport à la journée du 17. Le phénomène est lié à l'accélération du vent qui se produit les 18 et 19 août (un peu plus de 20 km/h à Nevers, mais 40 à Châteauroux et jusqu'à 55 à Bourges). A partir du 20, la quasi stagnation des masses d'air entraîne de nouveau l'évolution de leur humidité en fonction des conditions locales d'évapotranspiration.

Etant donnée l'importance des fluctuations diurnes, ni les moyennes de tension de vapeur, ni le taux moyen d'humidité relative, n'offrent une approche convenable de la situation; on peut seulement noter que, sur l'ensemble de la période, l'hygrométrie de Bourges est légèrement inférieure à celle de Châteauroux



## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

(69,73% contre 70,75%),davantage à celle de Nevers (75,34%).Par rapport à l'humidité absolue,la hiérarchie des stations est modifiée : Châteauroux = 12,8mb , Bourges = 13,0 , Nevers = 13,7.Les différences sont modestes.

Tout au long de la quinzaine,la montée diurne de température suffit à abaisser l'humidité relative à 50% couramment,et même jusqu'à 30% à partir du 12 (Fig. 43 e).Mais la quantité de vapeur d'eau dans l'air est assez grande pour que tous les jours le point de rosée soit atteint ou frôlé.Cependant les conditions de saturation sont très différentes selon la phase . Dans la période médiane,les trois stations enregistrent une fluctuation très classique de l'humidité : saturation nocturne avec la chute de température,*minimum* vespéral lié au *maximum* du thermomètre.

Ce style se prolonge sur la troisième phase avec moins de régularité et de simplicité . Les courbes des trois stations ne sont plus aussi étroitement parallèles,et la relation hygrométrie-température perd en netteté.L'interprétation de cette période est facilitée par la comparaison avec la période initiale.

Durant ce premier temps,la corrélation entre les fluctuations de la température et celles de l'humidité est particulièrement médiocre . Ainsi l'air est saturé le 7,à Bourges et Châteauroux,vers 15h au moment du *maximum* thermique ; le 9,la saturation est atteinte sur l'ensemble de la région du lever du jour à quinze heures . Le relèvement du taux hygrométrique est par contre en relation avec des pointes bien marquées de la courbe de tension de vapeur,associées elles-mêmes à des passages de fronts.La phase 3 connaît une situation de nature aéro-



## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

logique semblable, mais compliquée par l'interférence avec les conditions qui dominaient la deuxième période.

L'examen des variations de la pression partielle de vapeur confirme l'idée de la double dépendance des faits observés à l'égard, d'une part des conditions synoptiques, par ailleurs des circonstances locales. Dans la phase 1 et dans la phase 3, les courbes sont à peu près synchrones. Dans la phase 2, les concordances sont minimales en regard des divergences. La chute nocturne de la tension de vapeur est presque toujours beaucoup plus prononcée à Nevers que dans les stations berrichonnes. En sens inverse, la montée diurne est aussi nettement plus accentuée. Les conclusions tirées de l'analyse de la situation du 30 juin au 8 juillet s'appliquent à cette phase intermédiaire. Dans les premiers et dans les derniers jours de la séquence, alors que l'influence de la forêt sur l'humidité de l'air est oblitérée par la succession des masses d'air, les *maxima* souvent plus élevés de Nevers, et surtout la supériorité de Nevers en fin d'après-midi, montrent que l'action de la végétation, si elle ne se lit pas aussi simplement sur les graphiques, reste très efficace.

### *Les périodes de transition:*

1er exemple: L'AUTOMNE 1963 (8 au 31 octobre):

Les périodes de transition confirment les observations faites en saison d'activité de la végétation comme celles réalisées en phase de repos.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Les trois dernières semaines d'octobre 1963 constituent une longue période de temps sec. Les précipitations, qui n'intéressent un périmètre étendu que le 17, sont insignifiantes (1,3mm à Châteauroux, 1,0 à Bourges, 0,6 à Nevers). Mais ce beau temps automnal n'est pas d'une luminosité parfaite. Les matinées sont assez fréquemment brumeuses, ce qui réduit beaucoup la durée de l'ensoleillement (40% du temps possible à Nevers, 45% à Bourges, 50% à Châteauroux). L'insolation est bien meilleure l'après-midi (66% à Bourges, 67% à Nevers, 72% à Châteauroux), sans être parfaite. Le ciel est en effet troublé par des passages nuageux liés à la succession d'une série de fronts froids. Des brouillards plus ou moins persistants et des stratus se développent aussi, en relation avec les advections d'air maritime au sol et l'alimentation en air chaud de Sud-Ouest en altitude.

Dans l'évolution assez complexe des *maxima*, reflet des conditions aérologiques et des fluctuations de l'insolation, quatre périodes peuvent être distinguées: d'abord une phase de réchauffement diurne jusqu'au 12, une séquence heurtée du 13 au 18, un type de temps chaud pour la saison du 19 au 23, enfin une période de dégradation assez rapide du 24 au 29 (Fig. 44, p. 61 et Tableau 13, p. 62-65).

Malgré ces variations, le Piche de Bourges évapore de manière assez régulière jusqu'au 25 (Fig. 45, p. 66). En dehors des passages frontaux, le rythme est au niveau de 2mm par jour. Avec 30,3mm pour 22 jours, la moyenne s'établit d'ailleurs à 1,4mm et même à 1,6 pendant les quinze premiers jours. En dépit de la saison avancée, l'évapotranspiration, suivie à travers les fluc-

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

tuations de son terme advectif, reste active (1).

Ce n'est pourtant plus qu'occasionnellement que les heures chaudes de la journée sont encore à Nevers des "heures sèches" (3 fois seulement); elles le demeurent une fois sur deux au-dessus du Berry, mais sans descendre au niveau de 40% d'humidité relative (Fig. 44 e).

Chaque nuit, les condensations occultes écrêtent largement l'humidité absolue, et non pas seulement à Nevers comme en été, mais sur l'ensemble de la région (Fig. 44 e). Le seuil de saturation est en effet presque toujours atteint au sol, le point de rosée étant parfois obtenu au niveau de l'abri. Car les nuits sont déjà froides. La courbe des *minima* est plus accidentée que celle des *maxima*. La première gelée a lieu le 29 à Châteauroux, dès le 15 à Nevers. Le seuil de +5° est atteint onze fois à Nevers, six à Bourges, sept à Châteauroux; le seuil de +3° dix fois à Nevers, quatre à Bourges et Châteauroux. La baisse de température (Fig. 44 c) reste plus importante, mais aussi plus rapide, à Nevers. L'effet de relief est manifeste. Les condensations occultes se produisent donc dès la chute du jour, en tout cas dès les premières heures de la nuit. Mais le déphasage de Bourges et Châteauroux est considérablement atténué. Le rayonnement nocturne s'exerce en effet sur des masses d'air dont la pression partielle de vapeur est maintenue élevée à la fois par l'évapotranspiration et par les advections d'air maritime.

---

(1) - L'évapotranspiration potentielle calculée selon la formule de Penman se situe au-dessous des valeurs suggérées par l'évaporomètre Piche. Durant la période étudiée, elle se maintient, au-dessus de la prairie, au niveau de 1mm par jour, au niveau de 1,5mm au-dessus de la forêt.

L'évapotranspiration réelle est dans les deux cas de l'ordre de 7/10 à 8/10mm (sur la base des données locales de Bourges).

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

La combinaison des conditions aérologiques et des causes locales s'exprime dans les données suivantes:

- un jour sur deux la hausse de pression de vapeur est plus marquée à Nevers que sur le Berry;

- cette situation ne se prolonge pas au-delà du 23;

- le comportement de la Champagne berrichonne et celui des creux du Nivernais, sans être identiques, se rapprochent; l'écart sur la moyenne est insignifiant (11,2mb à Châteauroux, 11,3 à Bourges, 11,0 à Nevers). Les valeurs matinales moyennes sont également proches (10,2 à Châteauroux, 9,7 à Bourges, 9,6mb à Nevers). Si la tension diurne est un peu plus forte à Nevers (12,8 contre 12,0 à Châteauroux et 11,6mb à Bourges), la supériorité vespérale tend à se déplacer vers midi: la régulation stomatique, qui en été limite efficacement la transpiration pendant les heures les plus chaudes, ne joue plus avec autant de vigueur.

Il en résulte que l'on s'achemine vers des variations de la tension de vapeur à peu près simultanées, c'est notamment le cas à partir du 25, caractéristiques de la saison d'hiver. Bien que l'automne 1963 apparaisse comme une "queue d'été", le ralentissement progressif de l'activité de la végétation s'inscrit de manière apparente dans la transformation des conditions régionales d'humidité de l'air.

### 2ème exemple: LES CONDITIONS DU 3 AU 17 MAI 1963:

Encore que le temps ne soit pas vraiment pluvieux, les premières semaines de mai 1963 sont médiocres. Du 3 au 6, un courant perturbé intéresse le Centre, y déterminant un temps couvert par

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

intermittence. L'insolation représente un peu plus de la moitié du *maximum* astronomique (31 h à Châteauroux, 30 à Bourges, 32 à Nevers, sur environ 59). Les températures maximales sont caractérisées par une tendance à la hausse, mais n'atteignent pas 18°. Des précipitations, de durée limitée et d'abondance réduite, se produisent le 3 (Fig. 47, p. 67 et Tableau 14, p. 68-69).

Les deux journées ensoleillées du 7 et du 8 ne constituent qu'un bref intermède, lié à l'amorce d'une dorsale anticyclonique des Açores à la Baltique. Les températures diurnes montent brutalement.

Mais dès l'après-midi du 8 apparaissent des tendances orageuses qui vont, à partir du 10, permettre le retour à un régime cyclonique. Après les averses du 8 au 10 (10,4 mm à Châteauroux, 8,9 à Bourges, 9,8 à Nevers), de nouvelles pluies se produisent du 13 au 15 (10,3 mm à Châteauroux, 11,5 à Bourges, 13,9 à Nevers) ; mais la perturbation qui le 17 se frontolyse sur le Centre ne provoque pas de précipitations.

Si le Piche de Bourges (Fig. 46, p. 66) enregistre des valeurs comprises entre 2 et 5 mm, c'est dû pour une part à la force du vent qui atteint par moments 35 km/h ; mais l'intensité de l'évaporation répond aussi au déficit de saturation pendant les heures ensoleillées, les masses d'air présentant une tension de vapeur médiocre, rajustée chaque nuit au niveau compatible avec les faibles températures (Fig. 47 d) ; les moyennes sont de 9,1 à Châteauroux, 9,2 à Bourges, 9,1 à Nevers.

L'évolution de l'humidité est commandée par celle de la situation synoptique : la succession des masses d'air s'inscrit sur

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

les courbes, avec les décalages dans le temps qui répondent à l'étirement en longitude de la région étudiée. Les conditions de l'écèlement nocturne de la pression partielle de vapeur sont mieux réalisées à Nevers. L'effet de relief joue avec son efficacité habituelle. Par contre, l'influence de la végétation tarde à s'affirmer, ce qui s'accorde avec la lenteur du développement des plantes: l'observateur de Châteauroux note que "la pousse de l'herbe est en retard" (1).

Jusqu'au 6, l'humidité absolue est à Nevers à peu près constamment plus faible que sur le Berry; il en va de même du 10 au 15. Par contre, au cours de la phase anticyclonique des 7 et 8, une éphémère supériorité nivernaise de tension de vapeur apparaît. Il faudra pourtant attendre jusqu'aux 15 et 16 pour que le rythme estival se manifeste enfin timidement. La forêt n'affirme que lentement son influence, à mesure que la feuillaison se développe.

### CONCLUSION:

La série des exemples étudiés n'a que la valeur d'un échantillonnage. Les observations au sol ne permettent pas une analyse suffisamment rigoureuse des situations. Les interférences entre les divers paramètres en jeu sont si complexes que des doutes peuvent subsister sur le sens des relations de cause à effet.

---

(1) - Bulletin climatologique des départements de l'Indre et du Cher, 1963, N° 75, p. 7.

## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

Néanmoins, les corrélations constatées permettent d'avancer comme une hypothèse d'une grande probabilité l'influence, décisive en période de végétation, modulée selon les saisons, de la couverture forestière, comme facteur d'enrichissement diurne de l'air en humidité, plus particulièrement en conditions anticycloniques.

Les effets d'oasis interviennent pour étaler dans l'espace l'ambiance des surfaces boisées. Probablement, certaines parties du Berry bénéficient de telles conditions, plus ou moins temporairement, plus ou moins intensément ; mais les mailles du réseau météorologique ne permettent malheureusement pas de les définir. Par contre, il n'est pas douteux que l'ensemble du plateau nivernais, peut-être aussi la Sologne bourbonnaise, sont soumis au rythme forestier d'humidité, bien différent de celui de la Champagne berrichonne dans son ensemble.

Quoique limité dans le temps, et parfois difficile à discerner du fait des conditions météorologiques, le contraste entre les régions situées de part et d'autre de la Loire (en grossière approximation) n'est pas mince, du fait même qu'il se situe dans la période où les besoins en eau des plantes sont les plus élevés. La partie orientale de la région, bien que par sa couverture forestière quasi-continue elle représente un potentiel de transpiration très important, bénéficie d'un mécanisme d'auto-freinage déclenché par l'augmentation de la tension de vapeur. Le couvert végétal apparaît à la fois comme le responsable et comme le bénéficiaire de l'altération que subit, du Berry au Nivernais, l'homogénéité des masses d'air.



## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Ces observations trouveront tout leur sens lorsque seront définies les conditions de satisfaction des besoins en eau des plantes.

### Forêt et Température

#### L' ACTION THERMIQUE PERIPHERIQUE DE LA FORET:

L' action thermique de la forêt doit être envisagée à deux échelles, locale et régionale.

L' effet d' abri joue dans le sens d' une augmentation de la température, principalement sur les lisières Sud; mais aussi aux autres expositions, et les bois sont ainsi souvent bordés par une frange de groupements arbustifs ou herbacés abritant des espèces exigeantes en chaleur (*Trifolio-Geranietea sanguinei*, *Berberidion*).

A l' inverse, la forêt exerce aussi à l' occasion une influence réfrigérante sur l' espace agricole proche, selon des processus complexes. L' ombre portée des lisières, pourtant bien atténuée par la chute des feuilles, maintient pendant de longues heures la gelée blanche, sur une bande plus ou moins large progressivement rétrécie. Cette situation est difficile à distinguer de celle qui est engendrée par une véritable expansion périphérique de l' "air forestier", quand celui-ci est davantage refroidi pendant la nuit, principalement en hiver, ou moins réchauffé durant la journée, occurrence banale en phénophase feuillée (cf. chapitre 2).



## FORET ET HUMIDITE CLIMATIQUE

### LA FORET , FACTEUR REGIONAL

#### DE DIFFERENCIATION THERMIQUE:

La définition des caractères thermiques du "sylvo-climat" a été faite dans le cadre du Bassin Parisien pour le massif forestier de Fontainebleau (1); Wolkowitsch (2) a renoncé à la tenter pour la forêt de Châteauroux.

Certains traits du sylvo-climat de Fontainebleau paraissent s'appliquer aux régions boisées du Centre de la France. La moyenne annuelle du Nivernais est effectivement plus basse que celle du Berry. Le froid hivernal, le froid nocturne, sont plus prononcés; les *minima* sont accentués, principalement en été. Mais il a précédemment été établi qu'ils portent la marque dominante des actions topographiques.

D'autre part, contrairement aux données enregistrées pour la forêt de Fontainebleau, les *maxima* de Nevers sont souvent inférieurs à ceux des stations berrichonnes: l'observation vaut pour les moyennes et pour les situations vraies (Fig. 48, p. 70). L'avantage de Bourges ou de Châteauroux est inégalement important; il est particulièrement faible, voire annulé, durant les mois de printemps, marqués par la fréquence des types de temps perturbé, ceux aussi où l'évapotranspiration absorbe en Berry autant ou davantage d'énergie qu'en Nivernais (3); il est plus net en hiver, ce qui s'accorde avec la disposition en longitude des sta-

---

(1) - Daignon P., 1948 b.

(2) - Wolkowitsch M., 1958.

(3) - cf. chapitre II.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

tions, également avec les effets de sol; il persiste aussi en été.

C'est précisément dans cette infériorité en saison de végétation des *maxima* hivernaux, dont la corrélation a été marquée avec les fluctuations de la tension de vapeur, qu'il est possible d'envisager une intervention efficace de la forêt. L'abaissement de la température au-dessus des grands massifs boisés a été souvent signalé (1). Pendant la journée, en phénophase feuillée, entrent en effet en jeu dans l'établissement du bilan thermique, outre la conversion d'une faible partie de la radiation en énergie chimique potentielle, dans un sens l'albedo particulier du niveau du houppier, plus faible que celui des champs et des prés, dans l'autre sens la transformation d'énergie d'une évapotranspiration limitée par les conditions locales d'approvisionnement en eau. C'est à ce dernier processus qu'on peut imputer une action réfrigérante, de portée régionale, des étendues boisées, bien distincte de l'effet périphérique envisagé précédemment.

Il est difficile d'apprécier la chute de température. Le défrichement de 400 millions d'hectares de forêts dans la partie européenne de l'U.R.S.S. aurait entraîné une hausse moyenne annuelle de 1° (2); dans la région de Kazan (3), la différence atteindrait 1,6°. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que les valeurs suggérées par les estimations régionales.

---

(1) - Henry A., 1928; - Baldit A., 1935; - Carton P. et Sallenave P., 1939-1940.

(2) - Sozykine M.F., 1948.

(3) - Berg L., 1941.

## FORET ET TEMPERATURE

*1ère approche de l'influence thermique régionale  
de la forêt: les indications de la moyenne des maxima:*

Les moyennes ne peuvent guère permettre que l'indication d'une tendance. Encore est-il nécessaire de faire abstraction des périodes de temps perturbé, en raison de la complexité des conditions. En situation anticyclonique, les paramètres restent encore nombreux; l'identité totale des conditions d'insolation et de rayonnement sur toute l'étendue du périmètre d'étude est exceptionnelle; les effets d'oasis sont divers, selon la force et la direction du vent.

Les chiffres observés au cours de la période hivernale 1963-1964 (Tableau 15, p. 71), de fin octobre au 15 avril, donnent pour Nevers et Bourges des *maxima* moyens assez proches, un peu supérieurs à ceux de Châteauroux; sur 18 situations, Nevers est 7 fois plus chaud que Bourges, l'inverse est vrai 8 fois; surtout, en régime de hautes pressions, par flux de Nord à Est, la plaine de Châteauroux, qui ne bénéficie d'aucun abri, semble un peu plus froide, aux meilleures heures de la journée, que le Berry oriental et le Nivernais.

Le rapprochement des données thermiques des trois stations M.N. et de celles fournies par deux postes d'observation situés en bordure de bois confirme l'incertitude de l'influence régionale de la forêt en hiver, sa modestie en regard des effets locaux: les *maxima* des Brays, en lisière sud de la Domaniale de Tronçais (Allier) et du Chasnay, juste à la limite du plateau de Prémary, au sommet d'un coteau orienté au midi, évoluent parallè-

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

lement; tour à tour, l'effet d'abri et l'écoulement périphérique de l'air refroidi pendant la nuit ou (et) mal réchauffé pendant le jour paraissent jouer un rôle suffisant pour distinguer le "régime de bordure" de l'ambiance régionale dont l'homogénéité relative se trouve affirmée.

Mais l'analyse de la période de végétation conduit à d'autres conclusions. D'avril à octobre 1964, au cours des séquences anticycloniques, Bourges est plus chaud que Châteauroux et Nevers; les *maxima* printaniers sont plus forts à Nevers que sur le Berry occidental, ceux de l'automne plus élevés à Châteauroux, ceux de l'été voisins. Les stations des Brays et de Prémery ont alors des températures nettement plus faibles. Il devient nécessaire de compter avec la consommation d'énergie de l'évapotranspiration, inégale selon les taux de boisement, selon l'importance de la demande climatique et les possibilités de réponse du complexe sol-végétation (Tableau 16, p. 71).

### *2ème approche: analyse d'une situation concrète:*

Le raisonnement fondé sur la seule référence aux *maxima* est nécessairement flou. Ce sont les écarts instantanés tout au long de la journée qui devraient être pris en considération, car la transpiration subit elle-même des variations qui la font peser d'un poids inégal sur le bilan calorifique de l'atmosphère. C'est dans cet esprit qu'une situation concrète a été étudiée.

La période du 23 au 28 août 1964 a déjà été examinée au chapitre "relief, température, rosée". Toutefois un certain nombre de corrélations ont alors été laissées dans l'ombre. Après la

## FORET ET TEMPERATURE

chute brutale de température à Nevers pendant la nuit, qui a été pour l'essentiel mise au compte de l'effet topographique, le thermomètre remonte aussi plus vite qu'ailleurs, et l'écart entre les trois stations M.N. est moins grand sur les *maxima* que sur les *minima*. Pourtant, mis à part le 28, où l'approche des masses d'air frais se fait déjà sentir sur le Berry, les valeurs diurnes restent à Nevers presque constamment plus faibles, et l'écart dépasse assez largement 1° pendant la plus grande partie de la journée (Fig. 49, p. 70). Calculée de 6 à 18 h, sur cinq observations quotidiennes, la supériorité thermique de la Champagne berrichonne se situe en moyenne autour de 1,7° (Châteauroux), 1,8° (Bourges). En éliminant les valeurs de 6 h, comme portant trop directement l'héritage du rayonnement nocturne, l'écart reste encore de 1,4° (Tableau 17, p. 72). Les conditions topographiques n'arrivent pas pendant le jour à permettre l'annulation de l'infériorité thermique qu'elles ont engendrée pendant la nuit. Le sol de la Champagne a sa part de responsabilité dans une situation dont l'interprétation correcte ne peut cependant être abordée sans tenir compte de deux constatations:

- d'une part, l'avantage du Berry s'atténue considérablement aux heures les plus chaudes, celles où l'évapotranspiration potentielle prend les valeurs les plus élevées, celles aussi où la forêt ne peut plus répondre pleinement à la demande climatique;

- d'autre part, il a été établi (1) que les régimes d'humidité de l'air du Berry et du Nivernais sont bien différents.

---

(1) - cf. Forêt et humidité climatique, p. 89-116.

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

La fraîcheur relative du plateau nivernais pendant la journée n'est pas une simple séquelle des nuits plus froides; elle est aussi l'expression de la régulation thermique diurne exercée par la forêt.

*3ème approche: estimation du supplément d'énergie consommé par la transpiration de la forêt:*

L'approche quantitative du rôle réfrigérant prêté à la forêt peut être recherchée dans l'estimation de la quantité supplémentaire d'énergie consommée par la transpiration plus importante des secteurs à taux de boisement élevé.

Dans la période du 23 au 27 août 1964, les évapotranspirations réelles calculées (Tableau 18, p. 72) sont très proches pour les prairies et pour les forêts, quelles que soient les caractéristiques hydriques des sols. Si l'on admet que l'écart entre les valeurs de Nevers (11mm) et celles du Berry (5 à 6mm), écart qui est l'expression de la marche différente de la transpiration depuis le départ de la végétation (1), traduit l'efficacité régionale de la forêt, comme facteur de l'évapotranspiration, les 5mm de différence pourraient justifier théoriquement une diminution de la température quotidienne de 1,6°, supposée répercutée jusqu'à 1500m d'altitude.

Ce calcul a l'inconvénient de postuler la disponibilité d'une quantité d'énergie égale au-dessus de la campagne et au-dessus de la forêt, ce qui n'est pas conforme à la réalité. En imputant à la forêt un supplément de l'ordre de 100ly, correspondant

---

(1) - cf. chapitre 11.

## FORET ET TEMPERATURE

au changement d'état de 1,6mm d'eau, ce qui est convenable dans les conditions astronomiques et météorologiques du moment, la chute de température serait d'environ 1° (1,1°).

Etendre ce mode d'évaluation (1) à l'année entière est délicat. Entre un Berry qui serait totalement dépourvu de forêts et un Nivernais qui serait intégralement boisé, on peut au mieux envisager, entre la mi-mai et fin août, un abaissement de température compris entre 3° et quelques dixièmes de degré, selon les hypothèses de calcul; avant et après ces dates, la réalité d'une action réfrigérante, conséquence de la transpiration, paraît douteuse.

Malgré le caractère très approximatif de ces estimations, il n'y a pas lieu de les écarter comme de simples jeux de l'esprit. Elles situent l'ordre de grandeur de l'influence éventuelle des vastes surfaces forestières; mais il s'agit seulement d'une potentialité, qui s'exprime ou non, avec plus ou moins de force, selon les circonstances météorologiques.

---

(1) - les bases de calcul sont les suivantes:

1-la masse d'une colonne d'air d'épaisseur donnée, la pression étant p au sommet de la colonne, 1000mb au sol (niveau de la mer), est:

$$m = (1000 - p) \text{ grammes par cm}^2.$$

2-la chaleur spécifique de l'air étant d'environ 0,25 cal/g, une variation de température de 1°, intéressant toute l'épaisseur de la colonne, correspond à un transfert d'énergie, exprimé en langley, de  $0,25 \times (1000 - p)$ .

3-le changement d'état d'une quantité d'eau correspondant à une tranche de 1mm par cm<sup>2</sup> (0,1g) met en jeu 59Ly.

4-la relation entre la variation de température de l'air de la colonne et le changement d'état (évaporation ou condensation) d'une tranche d'eau d'épaisseur E est approximativement donnée par l'expression:

$$v = \frac{59 E}{0,25 (1000 - p)}$$

Il faut naturellement faire une hypothèse sur l'épaisseur de la colonne atmosphérique intéressée. Si l'on retient le chiffre souvent cité de 1500m, soit le niveau de 850mb, pour chaque mm d'eau changeant d'état:

$$v = \frac{59 \times 1}{0,25 (1000 - 850)} = 1,6^\circ$$



## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

### Conclusion du chapitre 1:

### DU CLIMAT REGIONAL AUX CLIMATS LOCAUX.

#### UNITE, NUANCES, CONTRASTES:

Les influences combinées diversement du relief, des sols, de la couverture végétale et plus spécialement de la forêt justifient les nuances et les contrastes, maintes fois décelés, dans l'unité de la province ligérienne (1), entre Berry et Nivernais, plus exactement entre Champagne berrichonne et pays coupés de l'Est.

La plaine est plus venteuse. Du printemps au début de l'automne, elle connaît, sinon des *maxima* toujours plus élevés, du moins davantage d'heures chaudes dans la journée. Enfin, le Berry calcaire est sous la menace d'une sécheresse, climatique et édaphique à la fois, qui mérite une analyse plus précise: au regard des besoins des plantes, il ne suffit pas de la caractériser par la tranche annuelle de précipitations plus faible qu'au-delà de la Loire, ni même par les fluctuations d'une humidité relative tombant jusqu'à 20 % et quelquefois 10 % au milieu des journées les plus arides.

Le Sancerrois et la Puisaye, le Sud-Est berrichon, le Nivernais, participent déjà d'une certaine "rudesse montagnarde". L'hiver y est plus marqué, le froid y est plus vif, surtout pendant

---

(1) - Vacher A., 1908; - Dion R., 1933; - de Martonne E., 1942; - Pédelaborde P., 1957.



## DU CLIMAT REGIONAL AUX CLIMATS LOCAUX

la nuit ; la neige , lorsqu' elle tombe , tient plus longtemps . Les nuits d' été restent fraîches et l' amplitude est plus importante qu' en Champagne berrichonne .

Une pluviométrie dépassant d' un quart à un tiers celle de la plaine , une humidité relative de l' air plus élevée , justifiant avec le refroidissement nocturne d' abondantes précipitations occultes , un vent coupé par le relief , exerçant une action évaporante réduite situent , toutes conditions de sol mises à part , le problème du ravitaillement en eau de la végétation en termes très différents .

### *HOMOGENEITE DE LA PLAINE , DIVERSITE DES PAYS COUPES :*

Que le climat local constitue la réalité fondamentale ou qu' il ne soit qu' un faciès d' un climat régional est une question d' optique : en regard des mécanismes fondamentaux , la deuxième proposition s' impose ; la première retrouve son audience dans toute analyse à préoccupations écologiques (1) .

Wolkowitsch a indiqué " l' uniformité climatique relative qui règne à travers le Berry " (2) ; Vacher avait déjà noté (3) , que si l' hiver est plus doux dans l' extrême Ouest , - et ce n' est pas vrai par régime de grands froids - , le printemps et l' été présentent des conditions thermiques voisines , et la sécheresse est partout menaçante .

---

(1) - Doignon P. , 1946 ; - Pédelaborde P. , 1957 .

(2) - Wolkowitsch M. , 1958 .

(3) - Vacher A. , 1908 .

## LE CADRE CLIMATIQUE REGIONAL

Par contre, le climat de la partie orientale est moins un climat régional qu'une marqueterie de climats locaux. Ce " sous-secteur oriental " est morcelé par un double cloisonnement : la disposition du relief est responsable de la succession répétitive, d'Ouest en Est, de croupes à pluviosité élevée, de coteaux orientés à l'Ouest, chauds et humides, de talus regardant l'Est, aussi chauds mais plus secs, de dépressions à régime heurté.

Sur ce dispositif méridien se superposent des oppositions Nord-Sud. Dion (1) distinguait dans le Val l'amont de la Charité, plus favorable aux prairies, et l'aval, plus propre à la vigne. Le Sud de la région participe déjà des conditions climatiques de la Limagne, notamment par sa pluviométrie. Au Nord du plateau nivernais, plus froid et plus humide, le Donziais prolonge le faciès berrichon jusqu'aux confins de la Basse-Bourgogne. Ces changements rapides sur quelques kilomètres, parfois quelques centaines de mètres, diversifient singulièrement les conditions d'existence des espèces, et celles des associations végétales.

---

(1) - Dion R., 1933.

## CHAPITRE 2

# LE CLIMAT FORESTIER

Au cours du chapitre premier, la forêt est apparue comme un facteur de différenciation important dans le cadre climatique régional. Elle est aussi un milieu climatique, non pas uniforme puisqu'il s'insère dans des environnements divers, mais caractérisé par une ambiance profondément altérée par le couvert. Il existe un certain nombre de "constantes" du climat forestier (ce qui n'exclut pas l'existence d'une multitude de micro-climats). La première partie du chapitre deux est réservée à leur définition. La seconde est consacrée à l'examen de quelques caractères des deux saisons de la forêt. La troisième évoque brièvement les accidents qui, plus ou moins localement, plus ou moins intensément, perturbent le développement de la forêt.

# I

## LES CONSTANTES

### DU CLIMAT FORESTIER

#### 1° - LE REGIME FORESTIER D' HUMIDITE

Le bilan de l'eau en climat forestier enregistre un certain nombre de différences par rapport aux conditions qui règnent sur les campagnes environnantes. La transpiration, plus intense durant la saison de végétation (1), est alimentée par une réserve d'eau contenue dans le sol *a priori* moins importante, puisque le houppier intercepte une fraction des précipitations qui est rendue à l'atmosphère par évaporation dans les heures qui suivent le météore. Quant aux conditions hygrométriques sous le couvert, celles qui intéressent le sous-étage et la strate herbacée, elles sont en phénophase feuillée bien différentes de celles des prairies et des champs.

---

(1) - cf. II - Les saisons de la forêt, p. 212 sq.

LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

Interception par le houppier  
et reserve d'eau du sol

LA FORET ET LE VOLUME DES PRECIPITATIONS:

L'eau qui parvient au sol est le reliquat des précipitations qui a réussi à traverser une série de filtres, dont le plus important, par sa continuité, est constitué par les couronnes des arbres. La végétation forestière retient effectivement une fraction des pluies; elle diffère seulement l'arrivée au sol d'une autre partie; et il y a naturellement des différences, en relation avec la physionomie locale de l'association végétale.

Depuis les travaux de Mathieu (1), de nombreuses tentatives ont été faites pour déterminer la part des précipitations qui est interceptée, et donc ne contribue pas à entretenir la réserve du sol. La question est susceptible d'être abordée de deux manières: l'une consiste à déterminer un "seuil de perméabilité", c'est-à-dire une quantité *minima* de précipitations à partir de laquelle l'eau cesse d'être retenue par les feuilles, et vaporisée, immédiatement ou à terme court, si la température de ces feuilles dépasse celle de l'air (2); l'autre vise à établir une corrélation entre l'interception et les précipitations, considérées nécessairement sous leur seul aspect quantitatif.

---

(1) - Mathieu ., 1878.

(2) - certains auteurs font état d'une fraction de l'eau absorbée par le feuillage.

## LE CLIMAT FORESTIER

### *Corrélations entre précipitations et interception:*

Certains observateurs se sont orientés vers la détermination de taux de rétention, annuels, saisonniers ou mensuels. Dans tous les cas existent des causes d'erreur.

L'eau qui arrive au sol se compose de trois parties: l'une est la fraction de la pluie qui réussit à franchir sans retard appréciable l'écran des feuillages superposés, ou pendant l'hiver de la ramure, et de la couverture herbacée; la deuxième part s'égoutte directement des feuilles ou des menues branches après la fin de la pluie; la troisième chemine du houppier au tronc, d'où elle gagne le sol; les pertes en cours de route ne sont pas négligeables (1).

Un pluviomètre placé sous forêt capitalise seulement l'eau de pénétration et l'eau d'égouttement. Il faut craindre l'effet des inégalités de densité du feuillage; multiplier les pluviomètres constitue un moyen de mieux approcher la réalité, à condition de placer les appareils en tenant compte des variations spatiales du couvert (2).

Recueillir l'eau des troncs à écorce lisse paraît possible; l'imprécision augmente sur les troncs à écorce rugueuse, comme ceux des chênes, qui constituent justement l'étage principal de presque toutes les forêts de la région.

---

(1) - Schnock G., 1967a.

(2) - Schnock G., 1967a; - Aussenac G., 1968a.

Aussenac évalue à 11 le nombre de pluviomètres nécessaires pour une bonne appréciation de la quantité d'eau qui arrive au sol sous un peuplement de feuillus, sous réserve que leur répartition soit correctement effectuée.

## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

Pour le calcul du coefficient d'interception, l'emplacement du (ou des) pluviomètre(s) de référence introduit une nouvelle source d'indétermination: le situer au niveau des couronnes, dans des conditions de ventilation différentes de celles régnant au sol, peut entraîner une sous-évaluation des précipitations, donc de l'interception; le placer hors forêt implique l'hypothèse d'une répartition spatiale uniforme des pluies sur des surfaces de quelques hectares, qui n'est pas systématiquement admissible (1).

Il ne faut donc pas s'attendre à une correspondance très étroite des résultats obtenus par les différents expérimentateurs et dont un certain nombre sont rapportés, à titre de référence (Tableau 19, p. 73). Une imprécision supplémentaire résulte du fait que tous les auteurs n'ont pas tenu compte de l'écoulement le long des troncs. Les taux de rétention cités oscillent entre 18 et 50 %. Aussenac (2), opérant à l'*Arboretum* d'Amance, dans des conditions climatiques et topographiques raisonnablement comparables à celles du Nivernais, indique 19 % en période feuillée et 15 % en période défeuillée, sous des peuplements de hêtre et de charme. Sur les moyennes mensuelles, les fluctuations sont naturellement plus grandes: 7 % seulement d'interception en janvier 1967, 23 % en mai de la même année. Le taux de l'eau collectée par les troncs varie de 5 à 9 %, celui de l'interception apparente de 13 à 30 % (Tableau 21, p. 75).

---

(1) - Ainsi, le 12 mai 1966, le pluviomètre de la Maison forestière du Chasnay (Prémery) n'enregistre aucune précipitation; cent mètres plus loin, en forêt domaniale, la quantité recueillie sous bois est de 1,7 mm.

(2) - Aussenac G., 1968a.

## LE CLIMAT FORESTIER

Une expérience a été réalisée à la Maison forestière du Chasnay, près de Prémercy (Nièvre), dans un *Querco-Fagetum*, en 1966 et 1967. Etant donnée la précarité des conditions d'étude (1), il s'agissait, non d'aboutir à une détermination rigoureuse, mais seulement de vérifier l'existence d'une corrélation acceptable entre les données alors publiées et les chiffres obtenus dans les conditions locales de climat, l'objectif final étant de cerner le mieux possible les conditions d'entretien de la réserve d'eau du sol, paramètre essentiel de la transpiration du couvert végétal (2), autant que la demande climatique (évapotranspiration potentielle).

Les renseignements recueillis sont présentés dans les tableaux 20 à 25.

Les valeurs de la rétention annuelle (Tableau 20, p. 74), -il s'agit de la rétention brute-, presque 29% pour l'année 1966, plus de 32% pour 1967, se situent vers le milieu de la fourchette des données publiées (Tableau 19). Elles sont élevées en comparaison des résultats obtenus simultanément à l'*Arboretum* d'Amance (Tableau 21, P. 75). Cette divergence n'implique aucunement une contradiction entre les conclusions à tirer des deux expériences. Elle attire seulement l'attention sur les conditions différentes d'expérimentation, et *a priori* paraît pouvoir s'expliquer très simplement par les densités inégales du couvert fo-

---

(1) - Il ne pouvait être question de demander à l'observateur bénévole davantage que relever quotidiennement les indications de 2 pluviomètres, 2 thermomètres et 2 évaporomètres Piche; la récupération de l'eau des troncs n'a pas été faite; l'auteur a conscience des critiques qu'appelle cette manière d'opérer.

(2) - cf. 2ème partie: les deux saisons de la forêt.



## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

restier, dont Aussenac (1) a évalué l'influence.

Les valeurs mensuelles des mois de juillet, août et septembre 1966 diffèrent peu de la Lorraine au Nivernais, alors que les conditions pluviométriques ont été très contrastées, cependant que les chiffres obtenus pour les mêmes mois en Nivernais en 1966 et 1967 sont plus éloignés. Durant le reste de la période d'expérimentation, l'interception apparente est toujours plus élevée à Prémary, les écarts *maxima* se situant en novembre, janvier, avril et juin, c'est-à-dire aussi bien en phénophase défeuillée qu'en période de plein épanouissement du couvert forestier, les plus faibles en mars et en mai, avant et pendant la feuillaison. Dans le même temps, la quantité d'eau qui atteint le sol en cheminant le long des troncs ne varie à Amance qu'entre 5 et 9 % des précipitations incidentes. Certes, ces taux peuvent être notablement dépassés en fonction de la morphologie des arbres (2), mais ce paramètre doit être considéré, pratiquement, comme constant sur le laps de temps de l'expérience; par contre, l'alternance des phénophases feuillée et défeuillée modifie les caractéristiques de l'écran forestier: or cette transformation saisonnière ne s'inscrit pas clairement dans les fluctuations moyennes de l'interception.

C'est que le cadre mensuel, malgré la lenteur et la relative régularité des modifications du couvert, convient mal à l'analyse du phénomène, parce que celui-ci dépend aussi très largement des caractères qualitatifs et quantitatifs des précipitations.

---

(1) - Aussenac G., 1968.

(2) - Eidmann F.E., 1959; - Slatyer R.O., 1965.

## LE CLIMAT FORESTIER

Il serait souhaitable d'étudier l'influence du couvert forestier à partir de données fournies par des pluviomètres enregistreurs, en tenant compte de la durée exacte des précipitations. Encore les conclusions manqueraient-elles de certitude, faute de connaître précisément la double influence du vent, accentuant plus ou moins la vaporisation de l'eau retenue par les feuilles et modifiant les conditions de l'égouttement, faute de tenir compte aussi de l'ambiance radiative et thermique, et de pouvoir mettre en équation les caractéristiques morphologiques du couvert.

C'est donc encore une approche bien grossière des relations entre régime pluviométrique et fluctuations de l'interception qui peut être conduite dans le cadre des séquences pluvieuses, le terme étant employé ici pour désigner une série de jours où le pluviomètre a capitalisé des précipitations. Par rapport aux évaluations sur des intervalles arbitrairement fixés, la méthode présente cependant l'avantage d'enregistrer de manière synthétique l'influence de l'environnement météorologique et biologique du moment.

Des données, rassemblées dans les tableaux 22, p. 76-77 pour l'année 1966, et 23, p. 78-79 pour 1967, l'interprétation qui est fournie est résumée dans les tableaux 24, p. 80-81 et 25, p. 82-83, ainsi que dans la figure 51, p. 85.

La corrélation entre le taux d'interception apparente par le houppier et la quantité de précipitations incidentes autorise un classement des séquences pluvieuses en quatre tranches, la troisième pouvant être subdivisée.

## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

Au-dessus de 50mm de pluie environ, le pourcentage de rétention brute frôle les 30% (moyenne = 29,3,- médiane = 29,6), avec un écart-type inférieur à 3%, été comme hiver, et un coefficient de variabilité de 10%. Le calcul de l'intervalle de confiance, effectué selon la formule applicable à la distribution de Student (1), puisque cette classe ne comporte qu'un petit nombre de points (10), montre qu'il y a 90% de chances pour que l'interception soit comprise entre 27,5 et 31%, 99% de chances pour qu'elle se situe entre 26 et 32,5%.

Compte tenu que la quantité d'eau acheminée par les troncs prend dans le cas de telles précipitations des valeurs élevées, particulièrement à l'époque où les arbres sont dépouillés de leurs feuilles, on peut considérer qu'il existe un accord satisfaisant entre ces observations et les données publiées (2). Il paraît raisonnable d'estimer que les 4/5 environ de la pluie arrivent au sol en période de végétation, les 5/6 en période de repos. Dans cette tranche de précipitations, l'aspect quantitatif prime l'aspect qualitatif.

Entre 28 et 49,5mm de pluie par séquence, le taux d'interception reste au niveau moyen de 30%, mais avec une variabilité bien plus grande (moyenne = 29,6,- médiane = 30,1,- coefficient de variabilité = 30,5), l'écart-type atteignant 9, et l'intervalle de confiance à 99% s'étendant de 22,7 à 36,5; le nombre de situations hivernales - 3 - est beaucoup trop réduit pour permet-

---

(1) - La valeur des centiles pour la distribution de Student est tirée de Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, de Fischer et Yates, table reproduite dans Murray R. Spiegel, 1972.

(2) - Aussenac G., 1968.

## LE CLIMAT FORESTIER

tre d'aborder objectivement une comparaison entre phénomènes feuillée et défeuillée.

Pour la troisième classe de précipitations, qui s'étend de 3,1 à 27,9mm, la moyenne de l'interception se place encore à 30, mais l'écart-type est porté à 13,5. Les taux observés durant la période où les arbres sont dépouillés sont dans l'ensemble plus proches de la moyenne que les valeurs estivales, ce qui s'accorde avec une action du feuillage différente selon la nature de la pluie.

Cette classe peut être subdivisée aux niveaux de 11,2mm et 14,2mm. Entre 14,3 et 27,9mm, l'interception, calculée sur 18 séquences est seulement de 27,6%, avec un écart-type de 11,5; au-dessous de 11,2mm, la moyenne dépasse 32, hiver comme été, et l'écart-type s'élève à plus de 14; constamment, les écarts-types hivernaux sont bien inférieurs à ceux de l'été.

Le taux moyen d'interception est affecté d'un coefficient de variabilité de l'ordre de 45%, en particulier dans la sous-classe 3,1 - 11,1mm; c'est dire que l'interception brute est largement affectée par les caractères de la séquence pluvieuse autres que la quantité de pluie : rythme de la précipitation, vent, température ambiante.

La dernière tranche de précipitations, 0,1 à 3mm, correspond à l'ordre de grandeur de la capacité de saturation des couronnes. Aussi n'est-il pas surprenant que la rétention brute y atteigne des valeurs particulièrement élevées : moyenne = 61,0, - médiane = 50,0%. Les observations du Chasnay confirment (1) que

---

(1) - Schnock G., 1967 c; - Aussenac G., 1968.

## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

les pluies très faibles, jusqu'à 3/10mm, sont intégralement retenues, avec cette réserve que les situations enregistrées localement sont toutes estivales (Fig. 51).

Au-dessus de cette valeur critique, les moyennes sont plus faibles, et les écarts-types moins grands, en période défeuillée qu'en phénophase feuillée. Mais le coefficient de variation dépasse cependant 60 (60,6) en hiver, et l'étendue de la distribution atteint 96,4 dans cette saison contre 76,9 en été. On peut penser qu'en période de repos de la végétation la réexportation vers l'atmosphère par évaporation à partir des branches et de la ramille n'est pas négligeable, pour peu que l'aspect qualitatif des précipitations s'y prête.

Toutefois le calcul du taux de rétention par le houppier comporte dans cette tranche un risque d'erreur particulièrement élevé, en raison de l'absence d'homogénéité des précipitations, même à 100m de distance: si les différences sur un espace restreint, peuvent paraître minces par rapport aux quantités d'eau reçues au cours d'une séquence durable, souvent elles ne le sont pas sur de brefs épisodes pluvieux.

### CONCLUSIONS:

1 - La rétention d'une partie des précipitations par le couvert forestier est réalisée au cours de séries complexes de situations concrètes extrêmement différenciées. A l'égard de ce phénomène, l'intérêt des taux d'interception est de même nature que celui d'une "normale" climatique, et il semble que sa probabilité statistique soit comparable.

## LE CLIMAT FORESTIER

2 - L'installation de batteries de pluviomètres accompagnés de systèmes de récupération de la fraction des précipitations qui chemine le long des troncs ne constitue, malgré sa complexité, qu'un moyen imparfait de suivre l'entretien de la réserve d'eau du sol forestier, l'interception nette étant fonction de variables encore plus nombreuses que la rétention apparente.

3 - A défaut de mesures, une solution de fortune consiste à utiliser une équation de régression, liant les fluctuations de l'interception à celles des précipitations.

L'expérience réalisée à la Maison forestière du Chasnay ne peut prétendre définir que l'interception brute. Elle incite, entre divers ajustements possibles, à préférer la droite des moindres carrés. Les valeurs de  $a_0$  et  $a_1$  dans l'équation  $y = a_0 + a_1 x$ , ont été déterminées pour toutes les tranches de précipitations, mais c'est l'expression applicable à l'ensemble des séquences pluvieuses apportant plus de 3mm d'eau qui semble la plus intéressante:

$$y = \frac{x}{100} + 30$$

Comme  $x$  varie entre 3 et 80,  $y$  est pratiquement constante.

Les caractères de la distribution, définis précédemment (Tableau 25 et Fig. 51) montrent que la crédibilité de cette formule augmente avec la quantité des précipitations. Mais elle est inutilisable au-dessous de 3mm de pluie. Et globalement la sécurité de l'estimation risque de paraître médiocre, puisque l'intervalle de confiance à 90% s'étend de 0,1 à 0,46 (1).

---

(1) - cf. note 1, p. 139.

## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

L'ordre de grandeur de l'interception doit-il être accepté avec le flou dû aux écarts-types plus ou moins importants selon les tranches de précipitations ? ou faut-il rejeter cette approche, et lui préférer une référence à la capacité de stockage du houppier, chercher une valeur limite absolue d'interception (2), c'est-à-dire implicitement admettre que la quantité d'eau retenue par le feuillage dépend davantage du nombre de précipitations que de leur volume (3) ?

### *Stockage par le houppier et égouttement :*

Le problème n'est pas moins complexe. Il semble nécessaire en effet de distinguer un seuil d'égouttement, à partir duquel des gouttelettes se détachent du bord des feuilles, et un seuil de saturation, correspondant à l'humectation totale des surfaces. Le premier se situerait au niveau d'un demi-millimètre de pluie environ (3), le second serait au moins quatre ou cinq fois plus élevé. Or, selon l'intensité ou la durée de la précipitation, c'est l'un ou l'autre de ces seuils qui devrait être pris

---

(1) - Pour cette raison, on pourrait être tenté de rechercher un autre ajustement.

L'équation  $y = \frac{29,5 x + 51,7}{x + 0,51}$  apporte théoriquement une solution pour

la tranche inférieure à 3mm, mais avec l'inconvénient d'admettre que même les pluies les plus minimes ne sont jamais arrêtées totalement par le couvert.

L'expression  $y = -\frac{29,5}{x^2} + \frac{39}{x} + 29,5$  est inadéquate au-dessous de 0,3mm. Elle serait utilisable pour les valeurs supérieures de précipitations. L'intérêt de ces courbes est cependant réduit, eu égard à l'extrême dispersion des points de la tranche 0,1 à 3mm.

(2) - Slatyer R.O., 1965.

(3) - Schnock G., 1967 c.

## LE CLIMAT FORESTIER

en considération pour une appréciation correcte de la quantité d'eau interceptée.

De nombreuses variables, difficiles à cerner sont susceptibles d'influencer ces deux valeurs critiques : morphologie de l'arbre, morphologie de la feuille, surface foliaire totale, température et agitation de l'air, déficit de saturation au niveau des couronnes...

L'expérience de Prémery n'a pas été conduite en vue d'une détermination de l'un ou l'autre de ces seuils. Cependant, si l'on admet, d'après les données bibliographiques, que la capacité de stockage dans un peuplement de feuillus est de quelques millimètres, donc que des précipitations de cette importance sont les seules pour lesquelles l'interception apparente puisse être peu différente de l'interception réelle, l'expérience permet de suggérer une limite supérieure de rétention totale de la pluie.

Le cadre temporel retenu pour l'analyse n'est plus la durée de la séquence pluvieuse mais la journée, faute de pouvoir descendre à une unité plus petite. Les valeurs de l'interception, pointées en fonction des précipitations s'inscrivent au-dessous d'une courbe - enveloppe complexe (Fig. 52, p. 86) : elle est du type  $y = x$  d'abord, pour des pluies ne dépassant pas 1mm, puis elle s'infléchit pour devenir asymptote au niveau de 1,5mm de rétention. Aux environs de 3,5mm de précipitations, sa pente augmente brutalement ; ce redressement durable de la courbe peut s'interpréter comme marquant le moment où rétention apparente et rétention vraie cessent d'être voisines. Dans les conditions de couvert de Prémery, ces 3,5mm représenteraient donc le seuil



## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

de saturation réelle. La partie de la courbe située à gauche du point d'inflexion (A) donnerait l'ordre de grandeur de la valeur limite de l'interception nette, soit environ 1,5 mm pour une pluie survenant en phénophase feuillée. La répartition des points incite à abaisser cette valeur, durant la période où les arbres sont dépouillés, au niveau de 0,9 à 1 mm (courbe pointillée) plutôt qu'à celui de 1,4 mm (courbe en traits-points).

Un décompte effectué sur ces bases donne pour Prémery, comme limite supérieure de l'interception vraie, 196,3 mm en 1966, soit 17,3% des précipitations, et 152,5 mm en 1967, soit 18,9% (1).

Dans chaque situation concrète les seuils retenus restent entachés d'incertitude, dans la mesure où au cours d'une journée la capacité de saturation peut être utilisée plusieurs fois par des précipitations interrompues d'éclaircies, pendant lesquelles l'évaporation réduit le stock d'eau intercepté. Par contre, la dispersion des valeurs de rétention brute pour la classe des pluies inférieures à 3 mm ne constitue pas un obstacle à l'estimation de l'interception réelle puisqu'il s'agit seulement d'établir la valeur limite atteinte par cette interception vraie. Mais il serait vain d'espérer fixer objectivement un seuil de rétention moyenne par jour de pluie.

---

(1) - Il n'est pas inutile de noter la convergence de ces résultats avec les estimations obtenues par Aussenac par la première méthode. Il est donc d'autant mieux défendable, en l'absence d'une expérimentation poussée davantage, d'admettre, comme très vraisemblables pour la région, les conclusions formulées par cet auteur pour la Lorraine, et de tabler sur un écrêtement d'environ 20% à l'échelle de l'année.

## LE CLIMAT FORESTIER

### *LA FORET ET L' EFFICACITE DES PRECIPITATIONS:*

Si le couvert intervient comme facteur de réduction de la quantité des précipitations, et paraît ainsi compromettre l'entretien de la réserve d'eau du sol, l'interception joue simultanément un rôle bénéfique, selon trois processus (1).

1 - l'effet-retard est une condition favorable à la pénétration de l'eau dans le sol, tout au moins à l'égard des pluies violentes survenant en période d'activité de la végétation. Chaptal (2) a établi une relation entre l'intensité de la pluie, sa durée, et la fraction de l'eau qui pénètre dans le sol. En limitant la vitesse à l'impact, en étalant la pluie dans le temps, le couvert facilite l'infiltration. Il est vrai que d'autres éléments entrent en jeu, notamment le degré de tassement de l'horizon superficiel du sol, sa structure, les caractères de la couverture morte.

2 - la fraction de l'eau qui chemine du houppier au tronc est responsable d'une répartition différentielle de la réserve du sol: elle augmente l'humidité au voisinage des racines, améliorant dans ces auréoles le potentiel efficace de l'eau.

3 - enfin l'interception nette par les couronnes n'est aucunement de "l'eau perdue". Elle joue au contraire un rôle essentiel dans le bilan hydrique des plantes, en permettant à l'é-

---

(1) - en outre, il paraît possible (Eidmann F.E., 1959), bien que le fait soit controversé, qu'en période de brouillard, la forêt récolte des condensations plus élevées que les campagnes environnantes.

(2) - Chaptal L., 1931.

## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

vapotranspiration réelle instantanée de tendre vers l'évapotranspiration potentielle (1). Cet effet temporaire se prolonge par l'atténuation du déficit de saturation de l'air, par l'absorption d'énergie, par l'abaissement de température corrélatifs. Dans les conditions de latitude de la région, l'évaporation de 200mm d'eau interceptés équivaut (2) à peu près au quart du rayonnement net (3). L'ouverture des stomates ainsi autorisée favorise la photosynthèse. Simultanément, le prélèvement sur les réserves du sol se trouve ralenti. Les 1 à 2mm d'eau de stockage du feuillage forestier sont donc en fait, en période de végétation, particulièrement propices à la croissance des plantes, à l'augmentation de la biomasse. Ce facteur ne joue pourtant dans les meilleures conditions qu'autant que la réserve facilement utilisable (4) n'est pas épuisée, sinon, l'accélération momentanée des processus vitaux est suivie d'un freinage plus brutal.

---

(1) - Inversement cela signifie que l'évapotranspiration potentielle, et à travers elle tous les paramètres qui la conditionnent, influent sur l'interception.

(2) - Calcul fait sur la base de 1750 heures/année d'ensoleillement, 6190 h de jour, 220 000 cal/cm<sup>2</sup>/année de radiation solaire directe, 10 mb de tension de vapeur.

Selon Aussenac G. (1968), l'énergie dissipée par l'évaporation de 300mm d'eau interceptée par un peuplement de sapin de Vancouver correspond à 20% de l'énergie solaire.

(3) - Les répercussions régionales de ce phénomène ont été examinées précédemment (cf. p. 118).

(4) - cf. 2ème partie.

## LE CLIMAT FORESTIER

### L' Hygrométrie dans la forêt

En période de pluie, le phénomène d'interception, par ses conséquences intéresse en principe les diverses strates de la végétation forestière. En période sèche, l'évapotranspiration entretient également un état hygrométrique souvent bien différent de celui du climat régional. Les plantes herbacées, les mousses, les arbustes, et en partie les couronnes des arbres se trouvent dans des conditions comportant une réduction très nette de leur propre transpiration, d'autant plus que, par suite de la réduction de vitesse du vent, de la limitation des échanges latéraux, le terme advectif de la balance d'énergie tend vers zéro.

#### QUELQUES ELEMENTS DE COMPARAISON:

Cuif (1), se fondant sur des mesures réalisées dans les Basses-Vosges, fixe à 4% en moyenne la supériorité du taux hygrométrique forestier dans des peuplements de hêtre et de chêne, avec pour sa période d'étude un *minimum* en avril, un *maximum* en septembre. Comme il note que la tension de vapeur est plus élevée hors bois que sous bois de 0,4 à 1,3mb en moyenne mensuelle, il met l'augmentation de l'humidité relative sous forêt au compte de la diminution de température. Ce faisant, il néglige toutefois l'enrichissement en vapeur d'eau dont ses stations de référence bénéficient par échanges latéraux.

---

(1) - Cuif E., 1913

## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

Doignon (1), dans des conditions de climat plus proches de celles de la région, voit à 5% le supplément d'humidité relative de l'air sous forêt.

Bramard (2) rapporte une observation faite le 19 août 1934: vers 15h, il note à la sortie Sud d'Ainay-le-Château, non loin de la Forêt de Tronçais, une humidité relative de 26%. Sous bois, près du Rond de Morey, elle atteint 46%.

### OBSERVATIONS REGIONALES:

*Une situation en air proche de la saturation:*

*le 19 août 1966:*

Une expérimentation prolongée n'a pas pu être réalisée dans la région, et ce sont de simples sondages effectués à l'occasion des relevés botaniques sur le terrain qui permettent d'esquisser un tableau, sujet naturellement à révision.

A partir du 17 août 1966, l'évolution météorologique est caractérisée par la présence d'une goutte froide en altitude, centrée au-dessus du Golfe de Gênes. Les conditions d'instabilité qui lui sont liées gagnent vers le Nord et déterminent le 19 une situation orageuse sur le Centre; l'insolation est nulle; l'hygrométrie moyenne est remontée à Bourges de 57 le 16 à 87 le 19, à Nevers de 61 à 92.

L'observation faite à midi à St-Laurent (Sud-Est de Cosne-

---

(1) - Doignon P., 1951.

(2) - Bramard A., 1957.

## LE CLIMAT FORESTIER

sur-Loire) donne une tension de vapeur et une humidité relative identiques à celles de Nevers (Tableau 26, p. 87).

Les mesures faites l'après-midi au site morphologique célèbre du Mont-Vigne (1), à environ 400m d'altitude, ne s'écartent pas des conditions régionales. Les différences sont infimes entre les divers faciès végétaux représentés sur le transect : lisière de chêne pubescent à sous-étage de buis, chênaie - charmaie du sommet, chênaie - charmaie à buis abondant de la corniche.

Il n'est pas surprenant qu'en air proche de la saturation, l'avantage de la forêt soit inexistant. C'est seulement en situation anticyclonique, ou en secteur chaud, que l'hygrométrie sous forêt revêt ses valeurs caractéristiques.

### *Une situation en secteur chaud: le 29 juillet 1966:*

A partir de la dernière semaine de juillet et jusqu'au 9 août, le Bassin Parisien est intéressé par un régime perturbé; le 29, un flux de Nord-Ouest règne sur le proche océan, et dirige sur la France une perturbation qui progresse lentement. La zone pluvieuse associée au front froid ne touche le Centre que dans la nuit du 29 au 30, et l'insolation reste forte, notamment dans la matinée (8h à Bourges, 9h  $\frac{1}{2}$  à Nevers).

La région est en secteur chaud quand l'observation est faite à 16h 30mn à Jussy-Argenvières (6 à 7 km au Sud-Ouest de la Charité). La comparaison avec Bourges et Nevers demeure aisée,

---

(1) - les points d'observation sont localisés sur la figure 53, p.87.

## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

car dans les deux stations de référence, ni tension de vapeur, ni humidité relative n'ont pratiquement varié de 15 à 18 h. L'écart avec Jussy est significatif, particulièrement au regard de l'humidité relative : 69% contre 50 et 54 (Tableau 26). L'avantage de la forêt est indiscutable.

### *Exemples en situations anticycloniques:*

#### 1 - LE 9 AOUT 1966:

Dans la journée du 8 août 1966, l'anticyclone atlantique déborde peu à peu sur l'Aquitaine, puis le 9 s'étend à une grande partie de la France. L'air polaire maritime, qui a envahi la région derrière le front froid d'une perturbation circulant de l'Angleterre à la Mer du Nord, se continentalise. L'ensoleillement, médiocre ou nul depuis le début du mois dépasse 9 heures.

Les observations sont faites le 9 sur l'élément inférieur du talus du Sancerrois, à l'Est et au Sud de Montigny (les Ferrands, Villepuant), successivement sous deux taillis de chânaie pubescente, et sur une pelouse du *Xero-Bromion*.

Alors que les conditions au-dessus de la formation herbacée sont tout à fait analogues à celles des stations de référence, pression partielle de vapeur et taux hygrométrique sont bien plus élevés sous bois. L'écart entre les deux relevés de chânaie pubescente ne paraît pas correspondre à une variation dans le temps (les données de Bourges et Nevers n'autorisent pas cette conclusion), mais se justifie par les différences dans les

## LE CLIMAT FORESTIER

conditions topographiques et biogéographiques: le relevé N° 571 se situe en terrain à peu près plat et horizontal, le N° 576 sur une pente de 12 à 15°, orientée au Sud. De surcroît, la couverture du taillis ne représente aux Ferrands que 40% de la surface; à Villepauant, elle atteint 60%.

La supériorité hygrométrique de la forêt enregistre subtilement les différences de peuplement, de densité du couvert, tient compte de tous les facteurs qui, en modifiant la balance énergétique, influent sur l'évapotranspiration.

### 2 - LES 6 ET 7 JUIN 1966:

Du 6 au 8 juin 1966, un épisode sec et ensoleillé s'intercale entre deux périodes de temps faiblement perturbé. Le 7 juin, à Nevers comme à Bourges, le *minimum* d'humidité relative se place à 15h; les effets d'oasis sont faibles (vent de 1m/sec à Bourges, de 0,8m/sec à Nevers).

Dans le canton du Bréau, en Forêt domaniale de Bellary (18km au Sud-Est de Cosne-sur-Loire), tension de vapeur et humidité relative sont, à 15h, relativement fortes. La différence avec les stations de référence ne peut être imputée qu'à une évapotranspiration plus élevée; favorisée localement par une saturation du sol suffisante pour permettre le développement d'une tourbière à sphaignes.

Les deux mesures effectuées à quelques mètres de distance, l'une dans une tache de soleil, l'autre à l'ombre, signalent l'existence de fluctuations microclimatiques, et attirent l'attention sur l'absence d'homogénéité des conditions sous un cou-



## LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

vert dont la densité n'est jamais rigoureusement constante. Des mouvements convectifs très localisés justifient une inégale diffusion de la vapeur produite.

L'importance du confinement de l'air forestier comme facteur de l'hygrométrie est plus encore mise en évidence par les mesures faites la veille en Forêt de Prémery. Les observations ont été effectuées en bordure de deux mardelles à nappe d'eau centrale et couronne de sphaignes, de polytric des marais, de joncs, de carex; mais l'une de ces dépressions est sous forêt, l'autre se trouve à l'époque en lisière d'un périmètre exploité.

Certes, dans les deux cas, pression partielle de vapeur et hygrométrie atteignent des valeurs plus élevées qu'à Bourges et Nevers; mais les différences entre les deux points, distants de quelques dizaines de mètres, sont aussi très grandes. Si l'on admet que la transpiration de la forêt est comparable à l'évaporation au-dessus d'une surface d'eau libre, l'écart repéré ne peut qu'être mis au compte d'une diffusion plus importante de la vapeur à partir de la tourbière de lisière, malgré l'abri de la forêt voisine (le vent est alors de secteur Ouest, sa vitesse est de 2m/sec à Bourges comme à Nevers).

3 - LE 4 OCTOBRE 1965:

L'observation faite à St-Baudel (30km au Sud-Ouest de Bourges) sous bois et sur le champ voisin a pour cadre une période automnale de beau temps chaud anticyclonique, installé depuis le 2 octobre 1966. Les mesures sont situées à 15h, au moment du

## LE CLIMAT FORESTIER

*maximum* thermique de Nevers, mais 3/4h avant le moment du *maximum* de Bourges. La tension de vapeur sous le couvert dépasse de près de 4mb la valeur de référence, c'est-à-dire d'un quart, et l'humidité relative marque une supériorité d'un cinquième. Malgré la saison déjà avancée, en situation d'évaporation relativement intense, - le Piche de Bourges perd ce jour là 3,2 mm - , la transpiration plus importante des arbres et le calme de l'abri maintiennent à un niveau indiscutablement plus élevé l'hygrométrie dans la forêt. L'ambiance sylvatique déborde sur les champs voisins, où elle se dégrade rapidement.

### 4 - LE 13 AOUT 1966:

La situation synoptique rend plus délicate l'interprétation de l'exemple du 13 août 1966. Depuis le 9, l'extension sur le Centre de l'anticyclone maritime permet un bon ensoleillement, qui autorise des températures élevées. Mais le 13 se produit le passage d'un front froid d'une perturbation de Sud-Ouest. Il ne donne pas de pluie sur la région, mais la durée d'insolation tombe à 3h  $\frac{1}{4}$  à Bourges et 4h à Nevers dans l'après-midi, contre 6h  $\frac{1}{4}$  et 6h  $\frac{1}{2}$  dans la matinée, cependant que le vent s'élève temporairement à 6-7m/sec. L'heure de l'observation la place avant le passage du front: de ce fait, l'état hygrométrique observé en forêt de la Chapelle - St - André est encore plus significatif, puisque les fortes valeurs constatées précèdent le relèvement provoqué à Bourges et à Nevers par le passage frontal.

LE REGIME FORESTIER D'HUMIDITE

5 - LE 16 AOUT 1966:

Les cinq mesures effectuées ce jour se situent dans une période où les hautes pressions atlantiques dirigent sur le Bassin Parisien un flux frais de Nord-Nord-Est qui entretient des températures médiocres pour la saison. Quatre des observations confirment les résultats enregistrés ailleurs; la cinquième (Sud de Fontenille), réalisée dans une chênaie acidophile assez claire sur substrat sableux, au milieu d'une zone de canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.), donne une humidité relative un peu plus forte que celle des stations de référence, mais les tensions de vapeur sont identiques: ce cas ne contredit pas les conclusions précédentes, mais il invite à en nuancer l'affirmation, et montre une fois encore l'influence des inégalités du couvert, et les rapides variations spatiales du climat forestier.

*Une situation prévernale: le 5 mars 1969:*

Une situation prévernale a été retenue pour sonder les conditions de la période sans feuillage. Un régime de flux continental donne le 5 mars un temps ensoleillé (9h  $\frac{1}{2}$  environ). Le chèvrefeuille prend ses premières feuilles; dans la strate herbacée apparaissent plus ou moins timidement *Ornithogalum pyrenaicum* L., *Primula* sp., *Arum maculatum* L., *Anemone nemorosa* L. Des ficiaires (*Ranunculus ficaria* L.) sont déjà en fleurs.

## LE CLIMAT FORESTIER

La transpiration peut encore être considérée comme pratiquement nulle; il n'en est pas de même de l'évaporation, car les sols sont gorgés d'eau (il a plu jusqu'au 3). Aux Bordes (18 km au Sud-Ouest de Nevers), sous un couvert aéré, l'hygrométrie est plus faible qu'à Nevers: le fait est à mettre au compte de la température plus élevée, car les tensions de vapeur sont identiques. A Dun-sur-Auron, sous un couvert mieux abrité, humidité absolue et humidité relative sont plus fortes. L'observation paraît confirmer l'importance, déjà reconnue, pendant la période de végétation, du confinement de l'air dans la forêt comme facteur d'une hygrométrie de taux plus important.

Ces quelques éléments n'autorisent pas de conclusions définitives. Les valeurs observées conduisent cependant à admettre qu'en saison de végétation règne dans la région, sous le couvert des forêts de feuillus, une humidité relative de 10 à 15% supérieure à celle des campagnes, et que le fait correspond non seulement à une différence de température, mais aussi d'une manière générale, à une tension de vapeur effectivement plus élevée.

L'inventaire, si sommaire soit-il, montre aussi l'existence de variations horizontales importantes de la teneur de l'air en vapeur d'eau sous bois. Un certain nombre de travaux ont d'autre part établi qu'il existe également un étagement vertical (1), imputable tant à la transpiration inégale des diverses strates qu'à la ventilation différenciée. Le confinement est moins parfait en hiver, mais il s'étend sur une plus grande épaisseur; en

---

(1) - cf. notamment Aussenac G. et Pardé J., 1969.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

été, la futaie se trouve, à la différence des strates inférieures, soumise à des effets d'advection actifs, qui lui donnent un rôle déterminant dans la marche du phénomène global de l'évapotranspiration (1).

## 2° - LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

Les facteurs du régime thermique forestier:

### 1 - CALME ATMOSPHERIQUE

#### ET CONFINEMENT RELATIF DE L' AIR FORESTIER:

Les facteurs du régime thermique forestier sont complexes, et comportent de multiples relations de cause à effet. Outre que les conditions d'humidité retentissent sur les conditions thermiques, celles-ci portent, -inégalement-, la marque d'un bilan radiatif fortement modifié par rapport à celui de l'espace agricole, et de situations aérologiques qui s'écartent également de l'ambiance régionale.

La mobilité atténuée de l'air dans la forêt vient d'être évoquée à propos des caractères hygrométriques du climat sylvestre. La réduction de vitesse du vent est effectivement très importante: dans un peuplement de feuillus, une diminution de

---

(1) - Inversement, il semblerait qu'à l'égard du terme advectif de la balance d'énergie, il y ait lieu, dans l'appréciation de l'évapotranspiration potentielle, de tenir essentiellement compte de la rugosité de la dizaine de mètres supérieurs seulement.

## LE CLIMAT FORESTIER

l'ordre de 3/4 à 4/5 peut être envisagée au niveau des couronnes pendant la période de végétation; elle demeure encore de 50% quand les arbres sont dépouillés; si en futaie le vent reprend une certaine force au-dessous des branches maîtresses, ce n'est pas vrai au même degré quand le sous-bois, taillis ou arbustes, est dense (1).

De cette situation résultent des conséquences différentes avec les saisons. En hiver, sous l'écran réduit de la ramure, le calme de l'atmosphère joue dans le sens de l'accentuation de l'écart thermique, insolation et rayonnement nocturne ayant leur pleine efficacité locale en l'absence d'échanges latéraux. Sous le couvert complet, en saison de végétation, c'est un véritable confinement de l'air forestier qui se trouve réalisé et qui, en aggravant la lenteur d'évolution des conditions microclimatiques, tend en principe à atténuer les oscillations diurnes de température.

### 2 - ECRAN DU HOUPPIER , RADIATION SOLAIRE , RAYONNEMENT ET EVAPOTRANSPIRATION REELLE :

#### *L'énergie incidente, ses modifications:*

Il peut sembler cependant que le régime thermique dans la forêt soit commandé davantage par le comportement de l'écran du houppier à l'égard de la radiation solaire et du rayonnement.

---

(1) - Geiger R. et Amman M., 1932 ; - Fons W. L., 1940 ; - Kittredge J., 1948 ; - Aussenac G. et Pardé J., 1969.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

Les études réalisées à ce jour permettent, en dépit des critiques exprimées à l'égard des mesures d'albedo (1), de se faire une idée approximative de la manière dont l'écosystème forestier utilise quantitativement la radiation solaire globale.

L'albedo de la surface supérieure de la forêt de feuillus paraît être d'une manière générale inférieur à celui des prairies comme à celui du sol nu, même si les ordres de grandeur de 20 à 25 % pour le sol labouré ou les éteules, de 20 à 30 % pour les formations herbacées, de 10 à 20 % pour les forêts, sont assortis d'une marge de variation importante.

Les chiffres publiés montrent que l'albedo des forêts caducifoliées dépend de la nature des peuplements, de leur coefficient de couverture, et aussi de leur composition floristique; 15 % constitue une bonne appréciation moyenne (2).

Plus que sur l'oscillation diurne qui affecte les deux premières et les deux dernières heures de jour, la courbe d'albedo demeurant remarquablement plate dans l'intervalle par temps stable, il faut mettre l'accent sur les variations annuelles, qui suivent un rythme commandé par la succession des phénophases feuillée et défeuillée (3).

Les observateurs qui se sont intéressés à ce rythme opposent la phase hivernale, pendant laquelle l'albedo de la forêt se situe au voisinage de 10 à 12, et la période de pleine feuil-

---

(1) - Griggs M., 1969.

(2) - Vygodskaja N.N., 1966; - Grulois J. et Schnock G., 1967; - Griggs M., 1969; - Grulois J., 1968 a et b; - Stanhill G., 1970; - Galoux A., 1971 et 1973; - De Walle D.R. et Mc Guire S.G., 1973.

(3) - Grulois J., 1968 a; - Galoux A., 1973.

## LE CLIMAT FORESTIER

laison pendant laquelle le plus grand nombre de mesures est compris entre 15 et 20. Mais ce schéma doit être enrichi de deux complications qui altèrent très sensiblement la courbe annuelle de l'albedo forestier. Le temps de la mise à feuilles est marqué, non par un passage progressif des valeurs hivernales aux valeurs estivales, mais par une brutale montée jusqu'à un niveau qui dépasse celui de la pleine phénophase feuillée (1). Grulois attribue cette pointe vernale aux qualités optiques du jeune feuillage, qui n'a pas encore atteint sa plus haute teneur en chlorophylle. Le changement automnal de couleur s'assortit aussi, mais non dans toutes les observations, d'une remontée du coefficient d'albedo qui ne s'achemine donc vers les basses valeurs de l'hiver qu'avec la chute des feuilles.

A l'échelle de la journée ou de la séquence de temps, les valeurs sont influencées par les conditions météorologiques. La plupart des auteurs ont noté des albedos plus élevés par temps couvert que par ciel serein; mais les résultats sont parfois inversés (2), ce qui conduit à admettre que l'influence des paramètres météorologiques est dépendante de la structure du couvert végétal (3).

Pour tenter de suivre approximativement le mouvement de la quantité d'énergie pénétrant dans les forêts de la région, on ne peut hélas que se référer à une courbe annuelle d'albedo établie ailleurs (4).

---

(1) - Roussel L., 1953; - Vygodskaja N.N., 1967; - Grulois J., 1968; - Galoux A., 1973

(2) - Kalma J.D et Stanhill G., 1969; - Kiese O., 1972.

(3) - Grulois J., 1973.

(4) - On a retenu les données de la station de recherche de Virelles - Blaimont (Belgique) - (Grulois J., 1968, Galoux A., 1973).



## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

Au niveau du 47ème parallèle, la radiation solaire directe a pour valeurs extrêmes environ 220 langleys par jour (1) en décembre et 990 Ly/j au solstice d'été. Dans le même temps, le rayonnement global au sol, évalué en l'absence de mesures en fonction de la durée d'insolation (2), passe de 85 à 480 Ly/j, pour une surface horizontale d'albedo nul (Fig. 54, p. 88, courbe 1), de 60 à 350 Ly/j pour les espaces agricoles (Fig. 54, courbe 2) d'albedo 25.

Sur ces bases, le supplément d'énergie dont bénéficie l'écosystème forestier varie dans le rapport de un à cinq selon la saison. Il croît, pendant le temps où les arbres sont dépouillés, de 10 Ly/j à peine en décembre à 50 Ly/j en avril à la fin du premier printemps (Fig. 54, courbe 5). L'avantage est moins prononcé en été, mais l'écart ne descend pas au-dessous de 20 Ly/j jusqu'en octobre, avec deux pointes à 35 - 40 Ly/j en juillet et fin août - début septembre.

Naturellement les valeurs retenues pour l'établissement de la figure 54 doivent être ajustées en fonction des situations météorologiques vraies, qui déterminent un rythme plus heurté et un déplacement de la position des *maxima* et des *minima*, dont les valeurs sont aussi modifiées. Ces changements se manifestent déjà dans les courbes décadaires (Fig. 55, p. 89). En outre, les conditions définies pour l'ensemble de la région comportent des variantes régionales, par suite des différences d'insolation évoquées au chapitre 1.

---

(1) - 1 Ly = 1 cal/cm<sup>2</sup>

(2) - Les valeurs d'insolation adoptées pour le calcul sont les moyennes des normales mensuelles de Châteauroux, Bourges et Nevers (période 1951-1970).

## LE CLIMAT FORESTIER

Enfin le relief accidenté du Nivernais contribue à multiplier les contrastes dans la quantité d'énergie disponible. Bien sûr les versants exposés au Sud bénéficient des conditions les plus favorables, avec un supplément pouvant atteindre en saison de végétation 50 à 70 ly/jour en moyenne pour des pentes de 5°, soit 20 %, 80 à plus de 100 ly/jour pour des pentes de 12°, situations courantes pour de nombreuses buttes et de nombreux talus de la région (Fig. 54, courbes 6 et 7). Mais la combinaison de l'influence de la pente et des différences d'albedo fait que les versants exposés au Nord, quand ils sont forestiers et d'inclinaison modérée, ne sont pas désavantagés par rapport aux régions planes voisines de champs et de prairies (Fig. 54, courbes 8 et 9). On peut dans la région estimer à 4 ou 5° (7 à 9%) les pentes tournées vers le Nord qui durant l'été ont un bilan à peu près équivalent à celui des campagnes voisines horizontales; encore ces versants profitent-ils au printemps d'un supplément non négligeable, de l'ordre de 25 ly/jour, susceptible de justifier la présence d'espèces relativement exigeantes en chaleur, comme *Rubia peregrina* L., *Anthericum ramosum* L., *Melittis melissophyllum* L., *Helleborus foetidus* L., *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. ...

De la radiation qui pénètre dans le couvert, on se contentera de rappeler ici qu'elle est profondément modifiée.

Quantitativement, elle est en grande partie absorbée au niveau des couronnes. Le houppier des feuillus intercepte, en période de repos de la végétation, une fraction de la radiation

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

lumineuse qui peut être estimée à 20%, avec comme valeurs extrêmes 10 et 50%. En période de végétation, le pourcentage de radiation qui parvient au sol est beaucoup plus faible: l'éventail des valeurs va de 5 à 20%, selon le coefficient de couverture des diverses strates, les caractéristiques des essences, les interventions humaines (1).

Deux ambiances lumineuses très contrastées caractérisent la forêt. L'étage supérieur bénéficie d'un éclaircissement moyen de 20 000 Lux. Pour les essences de lumière, la photosynthèse cesse d'ailleurs d'équilibrer la respiration au-dessous de 5 000 Lux (2). Les plantes du sous-bois se contentent d'un éclaircissement moyen de 1 000 Lux. Toutefois, les espèces vernaies ou prévernales jouissent de conditions meilleures: il est bien connu qu'un relevé floristique ne peut être représentatif que si l'inventaire a été effectué aux diverses saisons.

La radiation subit aussi une altération qualitative. Le reliquat au sol est constitué de deux éléments: l'un dont la composition spectrale a été modifiée, soit dans la traversée des tissus foliaires, soit par les réflexions répétées sur les feuilles; l'autre qui conserve sa composition, puisqu'il pénètre à la faveur des trouées dans les couronnes, et qui se répartit en pinceaux dont les taches de lumière sur le sol se déplacent avec le mouvement apparent du soleil: il en résulte sous le couvert des déséquilibres d'efficacité photosynthétique et de tempéra-

---

(1) - Knuchel H., 1914; - Burollet P.A., 1934; - Quantin A., 1935; - Lemée G., 1937; - Roussel L., 1948 et 1953; - Grulois J., 1967; - Jacquot C., 1970; - Galoux A., 1973.

(2) - Heller R., 1970.

## LE CLIMAT FORESTIER

ture d'échelle microclimatique (des écarts thermiques instantanés de 2 ou 3° ont pu être observés). Pour un même endroit, les contrastes se succèdent avec rapidité.

La répartition de l'énergie résiduelle entre les deux éléments est différente selon les associations. Le second joue un rôle important dans les forêts à couvert clair, comme la chênaie de chêne pubescent, voire la chênaie à peucedan; à l'inverse sa part est médiocre dans les futaies à sous-étage dense de hêtre.

En outre, le fondement radiatif du climat forestier est périodiquement perturbé par les interventions humaines, les coupes et les opérations de sylviculture. Si d'une manière générale il est correct d'opposer les conditions sous forêt à celles de l'espace agricole, dans le détail il existe, dans les peuplements de feuillus de la région, une très grande variabilité du bilan radiatif d'une forêt à l'autre, et pour une même forêt selon la saison et, à une échelle de durée plus longue, selon le traitement auquel elle est soumise.

Aussi le caractère évolutif de ce bilan doit-il être pris en considération lorsqu'il s'agit de définir les associations forestières. Kuhnoltz-Lordat (1) a depuis longtemps signalé que certaines espèces prospèrent ou disparaissent en fonction des conditions d'éclairement; ainsi, l'aspérule (*Asperula odorata* L.) dont beaucoup de phytosociologues font une caractéristique de la hêtraie (*Fagion*) s'y étiole lorsque le couvert devient très dense. La reconnaissance des espèces significatives est soumise aux contingences de temps.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

### *Rayonnement, Evapotranspiration réelle:*

Tandis que le rayonnement engendre par temps calme dans les premiers mètres au-dessus de la prairie un régime classique d'inversion, influencé plus par les facteurs locaux que par la situation météorologique régionale (1), les conditions en forêt sont sous la dépendance de mécanismes complexes, tenant à l'existence de plusieurs niveaux de rayonnement.

En hiver, l'émission d'infra-rouge par le sol de la forêt comporte deux freins, l'écran léger des branchages et la couverture de feuilles mortes, cependant que le ralentissement du vent joue comme une circonstance favorable à l'inversion.

En été, par simplification, le problème peut être considéré à deux niveaux. La surface supérieure du houppier tient le rôle d'un "sol effectif" (2) et rayonne de façon intense. On doit pourtant se demander si le feuillage multiplie la surface de déperdition d'énergie (3), ou si un "effet de piégeage" (4) intervient comme pour la radiation incidente. L'air refroidi au-dessus des couronnes descend en se diluant dans la masse atmosphérique confinée de la forêt (5), qui devrait donc évoluer vers une relative homogénéité thermique. L'efficacité du rayonnement à partir du sol et de sa couverture herbacée se trouve

---

(1) - King E., 1965.

(2) - Aussenac G. et Pardé J., 1969.

(3) - Burollet P.A., 1934.

(4) - Chartier P., 1966.

(5) - Galoux A., 1967 a; - Schnock G., 1967 b.

## LE CLIMAT FORESTIER

en effet limitée par l'écran de la voûte des arbres. L'opinion prévaut que la forêt atténue le froid. Aussenac et Pardé (1) précisent que l'ampleur de l'inversion est seulement diminuée par rapport au terrain découvert et que la fréquence du phénomène reste élevée. L'effet de serre ne peut jouer de manière parfaite, puisque le houppier est loin de présenter une densité constante et qu'il n'est pas imperméable à l'infra-rouge.

La question se complique encore du fait qu'il n'y a pas en réalité deux niveaux seulement de rayonnement, et que les strates buissonnante, herbacée et muscinale présentent une grande variabilité de répartition dans l'espace. Le bilan pourrait bien en fin de compte être aussi nuancé que pour la radiation d'origine solaire qui pénètre dans la forêt.

L'individualité thermique du climat interne de la forêt tient encore à l'importance de la quantité d'énergie dissipée par la transpiration : il s'agit non de la transpiration potentielle, mais de la transpiration réelle, qui apparaît ainsi comme un facteur essentiel, non pas seulement comme un élément du climat forestier.

### Les conditions thermiques dans la forêt :

1 - L' AIR :

Aucune observation n'a été faite au niveau des couronnes. Les conditions régnant dans le sous-bois ont été mises à l'étu-

---

(1) - Aussenac G. et Pardé J., 1969.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

de dans deux stations:celle du Chasnay (1) a fonctionné correctement,mais seulement,comme pour la pluviométrie,pendant deux ans.Les données recueillies ont paru cependant suffisamment intéressantes pour être comparées avec celles obtenues dans d'autres régions.

### *Les enseignements des moyennes:*

Hors forêt,le régime thermique de Prémery est modulé sur celui de Nevers M.N. (Fig. 56,p. 90 et Tableau 27,p. 92).Pendant les deux années d'observation,les *maxima* sont plus faibles,ce qui s'accorde avec l'impression de fraîcheur que l'on éprouve à parcourir le plateau,été comme hiver.La différence d'altitude,et en phénophase feuillée l'influence thermique de la forêt,justifient le décalage.Mais les *minima* de Nevers sont souvent plus accusés de mai à octobre,alors qu'une situation inverse se réalise en hiver:l'altitude joue alors dans un sens,la fréquence de l'inversion matinale dans les creux dans l'autre.

La comparaison avec d'autres stations du plateau conduit à penser que les indications récoltées à Prémery sont représentatives des conditions régionales,donec que l'expérience réalisée à la Maison forestière du Chasnay n'a pas simplement une signification ponctuelle.Que les observations aient été effectuées pendant deux ans seulement risque assurément d'entraîner un certain doute à l'égard des conclusions qui en sont tirées;tou-

---

(1) - près de Prémery (Nièvre).



## LE CLIMAT FORESTIER

tefois, la réserve concerne surtout les valeurs absolues des moyennes mensuelles ou décadaires; le sens même de l'évolution relative des températures sous bois et hors bois ne devrait pas en être affecté, dans la mesure où les années d'étude sont du point de vue météorologique suffisamment dissemblables.

La moyenne annuelle en forêt, calculée pour 1967 (1), marque une infériorité par rapport à la moyenne au-dessus de la prairie de  $4/10^{\circ}$  ( $9,9^{\circ}$  contre  $10,3$ ), due davantage aux *maxima* ( $14,2$  contre  $14,8^{\circ}$ ) qu'aux *minima* ( $5,6^{\circ}$  au lieu de  $5,8$ ). Les moyennes mensuelles suggèrent qu'il fait presque constamment plus frais en forêt (Fig. 57, p. 90 et Tableau 27). Toutefois la prise en compte des moyennes décadaires (Fig. 58, p. 91) nuance cette première approche. Sur 70 décades, les chiffres sont certes 53 fois plus bas sous le couvert, contre 9 fois égaux et 8 fois supérieurs; mais entre novembre 1966 et avril 1967, alors que la moyenne forestière est 7 fois au-dessous de celle de la prairie, 4 fois elle lui est égale, et 7 fois légèrement plus élevée. Si donc pendant les mois de végétation, le désavantage thermique de la forêt apparaît permanent et se situe pendant longtemps aux environs d'un degré, par contre en phénophase défeuillée, il n'y a pas d'infériorité systématique des températures du sous-bois.

Des compensations statistiques qui interviennent dans les moyennes découle une représentation schématisée, - d'autant plus persuasive -, des relations entre la marche des températures et celle du rayonnement global (Fig. 57); la réduction d'insolation

---

(1) - l'année 1966 présente une courte interruption des observations.



## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

hivernale, le supplément énergétique printanier dont la forêt bénéficie, paraissent n'avoir que des conséquences limitées; du moins, leur effet est masqué par le calme atmosphérique, favorable au réchauffement comme au refroidissement des niveaux inférieurs; en été le rôle de l'interception par le feuillage devient primordial; la température sous bois enregistre les déficits les plus importants alors que la forêt capte des quantités d'énergie qui demeurent plus grandes que dans son environnement agraire; le fait implique, semble-t-il, qu'il y ait au niveau des couronnes à la fois piégeage de ce surcroît et déperdition particulièrement élevée par la transpiration, ce qui confirme l'importance de l'évapotranspiration comme facteur climatique.

Les moyennes portent selon la saison surtout la marque des *maxima* ou surtout celle des *minima*: des conditions différentes règlent la marche des températures diurnes et nocturnes.

Du 20 mai au 20 août (Fig. 58), l'intervalle entre sous-bois et prairie se tient aux environs de 2°. C'est entre le 20 avril et le 20 mai que le déficit forestier s'accroît, en corrélation parfaite avec le développement du feuillage. Dès juin se manifeste une tendance à la réduction de l'écart: faut-il penser que, pendant les mois les plus chauds, le rayonnement des couronnes en direction du sol apporte un supplément appréciable, à un moment où la régulation stomatique réduit la transpiration, au moins au milieu de la journée.

En septembre, le décalage s'atténue; vers la mi-novembre, les *maxima* moyens prennent en forêt et hors forêt des valeurs proches. Il a suffi d'un mois pour que le déficit se creuse, il en

## LE CLIMAT FORESTIER

faut deux et demi pour qu'il se résorbe; la chute des feuilles n'est massive qu'à partir de novembre, mais elle commence de bonne heure, et l'éclaircissement progressif de l'écran intervient nettement dans le rapprochement des conditions thermiques des deux milieux.

Si l'on considère que le bilan radiatif établi à Nevers est valable dans un rayon de 25 km, on déduit de la comparaison des figures 55 et 58 que les différences, momentanément réduites, de la deuxième décade de juin et de la première décade de septembre 1967 correspondent à des chutes brutales de l'apport énergétique par suite des circonstances météorologiques. Cela signifie apparemment que le déficit est, au moins dans un premier temps davantage ressenti hors forêt: ce ne serait plus l'interception qui jouerait le rôle principal dans la marche des températures, mais l'inertie de la masse d'air forestier confiné; la valeur limitée du rayonnement nocturne dans le sous-bois, en sauvegardant le capital-chaleur de ce niveau, permet à la température d'y moins baisser que sur la prairie, et donc de se rapprocher pour un temps des conditions extérieures.

De novembre à avril, les *maxima* décadaires moyens sont sous forêt presque constamment plus élevés. L'écart est modeste, quelques dixièmes de degré: mais il attire de nouveau l'attention sur l'importance du calme atmosphérique, capable de compenser, et au-delà, les conditions relativement défavorables d'insolation. En bref, la combinaison de la réduction, inégale, de la quantité d'énergie captée, et de la mobilité limitée de l'air forestier, font que l'été est nettement plus frais et que l'hiver est un

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

peu plus chaud dans les *maxima*.

La comparaison des amplitudes (Fig. 59, p. 93) ne peut que confirmer les termes de la confrontation précédente. Elle souligne que le climat forestier est plus modéré de fin avril à fin octobre - début novembre. Mais le parallèle parfois établi entre l'influence de la forêt et celle de l'océan ne mérite pourtant pas d'être retenu, car dans les conditions de la région, il n'est valable que saisonnièrement: pendant l'hiver, le régime thermique forestier est au contraire légèrement plus "excessif". Significativement, les courbes d'amplitude sous bois et hors bois se recoupent en mai et en novembre.

Les résultats de l'expérience de Prémery appellent naturellement une conférence avec les données bibliographiques disponibles. Dans le cadre régional, à partir d'une série d'observations réalisées en Forêt de Tronçais (Allier), entre 1895 et 1908 (stations des Brays, de Bougimont, de la Corne de Rollais), Bramard fait état (1) pour les *maxima* moyens d'une infériorité estivale de 1 à 5°, tandis que les écarts sont peu sensibles pendant l'hiver. La variation est en phase avec celle observée à Prémery. Mais, à l'égard des *minima*, Bramard reconnaît au sous-bois des températures plus élevées, de 0,5 à 2,5° de novembre à mars, de 1,5 à 3° d'avril à octobre, ce qui ne cadre pas avec les résultats obtenus à la Maison forestière du Chasnay.

Dans une perspective élargie, l'examen des données fournies par divers auteurs montre que les courbes des écarts entre les *maxima* sous bois et hors bois expriment le même mouvement; un

---

(1) - Bramard A., 1957.

## LE CLIMAT FORESTIER

changement d'ordonnée de l'origine, sans les superposer, les rapproche dans un intervalle amoindri (1), ce qui laisse entendre que les facteurs qui en déterminent la modulation annuelle agissent dans le même sens, mais avec des intensités inégales; les *maxima* hivernaux sont, soit comme à Prémery effectivement plus élevés en forêt (2), soit seulement moins abaissés que les *maxima* estivaux (3).

Il existe une relation entre le régime thermique et la nature des peuplements forestiers (4), mais il serait imprudent d'imputer préférentiellement l'influence différentielle du couvert aux seules inégalités dans l'interception de la radiation d'origine solaire, puisque le degré de confinement de l'air forestier et la consommation d'énergie par la transpiration sont aussi sous la dépendance des caractéristiques de la strate arborescente supérieure.

La comparaison des *maxima* forestiers et non forestiers réalisée dans les montagnes du Tennessee (5) donne des résultats qui sont en conformité avec le schéma précédent. Mais les observations effectuées dans trois types de forêts du domaine méditerranéen (6), un groupement mésophile, un autre sur substrat sec

---

(1) - la comparaison des courbes doit tenir compte que certaines représentent le cours de la température pendant une seule année (Schnock G., - Braque R.), d'autres pendant quelques années (Cuif E.) ou une longue période (Burger H.).

(2) - Schnock G., 1967 b.

(3) - Cuif E., 1913; - Burger H., 1951.

(4) - Schubert J., 1900; - Cuif H., 1913.

(5) - Hursh C.R., 1948, cité dans Kittredge J., 1962.

(6) - Pavari A., 1962.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

et un fourré de chêne vert, ont permis de montrer dans ce contexte climatique, l'influence déterminante de l'évapotranspiration sur la courbe des *maxima*.

Dans la partie Ouest de l'Europe, en Lorraine, en Suisse ou en Belgique comme dans le cadre de la dition, on peut s'attendre à ce que la part relative des facteurs qui conditionnent les Tx forestiers soit changeante, en raison de la variabilité de l'ambiance atmosphérique.

Les courbes des écarts sur les *minima* reproduisent les contradictions observées entre Prémery et Tronçais (Fig. 60.p. 94). Mathieu (1) pensait que les *minima* sous forêt étaient invariablement les plus élevés. Dans les Vosges occidentales, Cuif (2), sur des périodes d'étude variant de deux à cinq ans selon la saison, décèle un rythme annuel, caractérisé par des différences entre forêt et espace agricole, faibles en hiver, importantes en été (surtout en juin); sous les feuillus, les Tn forestiers sont parfois plus élevés, sous les sapins, ils sont toujours plus faibles. Aussenac (3) les trouve également plus bas dans un peuplement de pin sylvestre. Dans l'ouest de l'Ardenne belge (4), les Tn sous bois dépassent ceux de la prairie de 0,2 à 2,4°, mais les observations des années 1964 et 1965 ne semblent pas permettre la reconnaissance d'une modulation saisonnière. Les enregistrements réalisés entre 1929 et 1949 dans l'Emmental, à une

---

(1) - Mathieu A., 1878.

(2) - Cuif E., 1913.

(3) - Aussenac G., 1967, cité dans Aussenac G. et Pardé J., 1969.

(4) - Schnock G., 1967 b.

## LE CLIMAT FORESTIER

quinzaine de kilomètres à l'Est de Berne, montrent que d'avril à octobre, le refroidissement nocturne abaisse la température de la station de plein découvert presque au niveau atteint sous le peuplement de sapin et épicéa de la Brandiswald, tandis que de novembre à mars, la forêt manifeste dans les *minima* une supériorité de l'ordre du demi-degré.

Dans ces conditions, il faut bien admettre qu'un raisonnement fondé sur les moyennes, mensuelles ou décadaires, d'ailleurs rendu délicat par les grandes inégalités des durées d'observations, s'il apporte des conclusions cohérentes pour les *maxima*, ne permet pas d'éclairer globalement la question des processus thermiques respectifs des habitats forestier et non forestier.

D'autres renseignements sont fournis par l'analyse fréquentielle des écarts de température, par l'examen du cas particulier du gel et par la mise en parallèle des conditions dans le cadre des séquences de temps.

### *Analyse fréquentielle des écarts de température:*

Le classement des différences de température entre les deux abris de Prémery a permis de réaliser, pour les *minima* et pour les *maxima*, des analyses mensuelles et saisonnières de fréquence. Dans les conditions climatiques de la région, les concordances révélées par cette étude sont d'autant plus significatives que les deux années d'observation sont plus différentes que ne l'indique la seule considération des moyennes (Tableau 28 et Fig. 61, p. 95).

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

Dans les deux cas, après une vague de froid en janvier, les fins d'hiver sont douces, mais février 1966 présente des conditions tout à fait exceptionnelles, surtout pendant la nuit (Tn les plus élevés de la période 1946-1973). Le premier printemps (mars-avril), d'abord frais et sec, puis doux et pluvieux en 1966, est marqué par un net déficit de précipitations en 1967. Le contexte pluviométrique totalement opposé dans lequel se situe le départ de la végétation se retrouve en pleine phénophase feuillée. Juillet et août 1966 ont un ensoleillement déplorable et reçoivent beaucoup d'eau. Le régime thermique du mois d'août est heurté, avec des *minima* très bas pour la saison (+ 2,5° le 26) et quelques coups de chaleur (32° le 12). Juillet 1967 est un des mois les moins arrosés que le plateau nivernais ait connus (12 mm à Nevers, 10,9 à Prémary-bourg, 12,8 mm au Chasnay), et il bénéficie d'une insolation record (327 heures, contre 210 en 1966 (332 en 1959)).

L'automne 1966, d'abord lumineux et sec, puis gris et humide, se termine par un mois de novembre froid, alors que l'automne 1967 manque de soleil, mais frais en septembre connaît en octobre une douceur inhabituelle, avec notamment des températures nocturnes les plus élevées depuis 1946.

En dépit de ces différences accusées d'une année à l'autre, les courbes qui expriment la fréquence saisonnière des écarts quotidiens, positifs ou négatifs, entre température sous bois et température au-dessus de la prairie (Fig. 62, p. 96), présentent dans les *minima* comme dans les *maxima* des analogies qui reproduisent celles des courbes de moyennes décadaires, mais en sou-

## LE CLIMAT FORESTIER

lignant cependant:

1 - que les écarts quotidiens en phénophase défeuillée sont de caractère très modéré, aussi bien l'avantage de la forêt sur les *maxima* que son infériorité sur les *minima*;

2 - que pendant la période de végétation, le plus grand nombre des écarts est compris entre + 1 et - 1 pour les *minima*, entre 0 et - 2 pour les *maxima*.

La période de développement du feuillage et celle de la chute des feuilles ont été comptabilisées à part, de manière à ne pas altérer éventuellement les caractéristiques de la saison de pleine feuillaison.

La proportion de Tn forestiers supérieurs aux Tn sur prairie est plus élevée en 1966 qu'en 1967, ce qui pourrait correspondre à des nuits plus douces en forêt quand le temps est doux. Cette observation paraît susceptible de réduire les divergences qui existent entre les données bibliographiques. Les *minima* en forêt marqueraient une grande dépendance à l'égard de la situation météorologique, alors que les *maxima* enregistraient essentiellement la combinaison du stade phénologique, relativement constant d'une année à l'autre, et de la variation saisonnière du rayonnement global incident, dont le mouvement général reste commandé par les conditions astronomiques bien qu'il soit dans le détail affecté par la succession des états du temps. Il reste pourtant le sentiment que les *minima*, fonction de l'intensité du rayonnement du sol et des strates inférieures en direction de l'atmosphère, ainsi que du degré de confinement



## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

au point d'observation, enregistrent de manière décisive l'intervention des facteurs locaux, y compris les caractéristiques de l'abri.

Les courbes qui expriment la répartition mensuelle des écarts quotidiens entre forêt et prairie (Fig. 63, p. 96) apportent encore deux séries de précisions:

1 - la pente des courbes est faible de décembre à avril: les moyennes sont donc plus significatives pendant la période de repos de la végétation. Les contrastes thermiques sont plus accusés en phénophase feuillée, ce qui confirme que l'écran des couronnes voit son effet amplifié ou contrarié par le calme atmosphérique, le confinement de l'air forestier.

2 - par rapport à l'axe des abscisses, les courbes se répartissent en trois groupes:

- de juin à octobre, elles sont largement, parfois totalement au-dessous de l'axe pour les *maxima*. Pendant ce temps, (et même de mai à novembre), les courbes des *minima* sont à peu près symétriques;

- de décembre à mars, les courbes d'écart sur les *maxima* sont largement au-dessus de l'axe; celles des différences sur les *minima* sont au-dessous de décembre à avril;

- à l'égard des *maxima*, avril et novembre ont des courbes symétriques.

Le bilan de ces observations peut se résumer ainsi:

- quand les arbres sont dépouillés de leurs feuilles, le facteur prédominant du régime thermique forestier est la réduction

## LE CLIMAT FORESTIER

tion du confinement de l'air forestier qui permet aux conditions météorologiques régionales d'affirmer leur influence par rapport aux fluctuations locales du bilan d'énergie.

- en période de végétation un confinement plus poussé est réalisé, bien qu'il soit très variable selon la nature du groupement végétal, l'état du peuplement, le mode de traitement de la forêt; mais ce facteur pèse moins dans la définition des conditions de température qui sont alors surtout fonction de l'interception accrue de la radiation solaire et de la dissipation massive d'énergie par l'évapotranspiration. Il n'est pas possible de dire que le climat forestier soit alors moins dépendant du climat régional.

### *Gel en forêt et gel hors forêt:*

Il gèle dans l'abri (Tableau 29, p. 98) plus souvent en Nivernais qu'en Berry, et plus souvent dans les dépressions que sur le plateau (1). Le site de la Maison forestière du Chasnay peut être considéré comme relativement privilégié, moins en raison de l'exposition au Midi qu'à cause des 60 m qui le séparent du fond de la vallée de la Nièvre. Mais le régime annuel du gel paraît très analogue à celui des autres stations (2) réparties à l'Est de la Loire (Fig. 64, p. 97), la variabilité interannuelle étant beaucoup plus grande que les différences entre localités (Fig. 65, p. 98).

---

(1) - chapitre 1, p. 60.

(2) - Nevers, station M.N.; - Billy-Chevannes et la Collancelle, stations du réseau secondaire; - l'Usage Défendu (Raveau), le Chasnay (Prémery), Montambert (pour la température), stations provisoires d'expérimentation.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

Dans la région, pour les deux années d'observation, les premières gelées sont venues tardivement, dans les derniers jours d'octobre en 1966 et seulement en novembre en 1967, alors qu'elles se produisent le plus souvent avant la mi-octobre. Ces gelées, ainsi que les coups de froid les plus tardifs (mai), sont à Prémery d'égale fréquence et d'intensité semblable sous bois et hors bois. Mais l'inventaire compte trop peu de cas pour étayer des conclusions (Fig. 66, p. 98).

Des froids un peu plus vifs en terrain dégagé paraissent marquer la fin de l'automne. Faut-il penser que la litière de feuilles mortes limite les pertes d'énergie à partir du plan inférieur de rayonnement? ou incriminer l'abri?

Pendant l'hiver et la période prévernale, il gèle par contre un peu plus longtemps en forêt. Le classement des jours en fonction des températures enregistrées montre, qu'à chaque niveau, le froid persiste en forêt au moins aussi longtemps que sur la prairie, et dans de très nombreux cas quelques jours de plus, nouvelle expression en régime de gel durable, d'une inertie liée au confinement de l'air forestier, lequel demeure réel même en phénophase défeuillée.

Encore faudrait-il tenir compte du mécanisme générateur du gel, advection froide ou rayonnement. D'ailleurs, d'une façon plus générale, la comparaison des régimes thermiques devrait, pour aboutir à une compréhension correcte, être abordée dans le cadre de la succession des types de temps.

## LE CLIMAT FORESTIER

### *Régimes thermiques comparés dans le cadre des séquences de temps:*

L'étude a été faite pour l'année 1966 (Fig. 68, p. 100). Les courbes d'écart thermique entre la forêt et la prairie, tout en suivant naturellement le mouvement de la représentation décadaire (Fig. 58), présentent un caractère heurté, qui attire l'attention sur l'aspect toujours momentané de l'avantage ou du désavantage de la forêt, et sur l'extrême variabilité de la relation bois-hors bois. Il n'y a en outre aucun synchronisme réel entre les fluctuations des *minima* et celles des *maxima*.

Sur des séquences dont la durée habituelle est de l'ordre de quelques jours, il est exceptionnel que la forêt enregistre à l'égard des *minima* un supplément de l'ordre du degré. Par contre, il n'est pas rare que le sous-bois soit plus froid au matin d'environ un degré. Pratiquement, de la mi-novembre à la mi-mai, les  $T_n$  forestiers sont les plus bas. De mai à octobre, les périodes où la forêt est plus fraîche dominant en nombre; mais ni un régime franchement plus froid, ni un régime durablement plus chaud ne parviennent à s'installer.

Pour les  $T_x$ , leur supériorité sous le couvert n'est constante qu'à partir de fin décembre, et non de novembre à mai, comme les moyennes décadaires en donnaient l'impression: elle semble ainsi correspondre de manière bien plus stricte à la phénophase rigoureusement défeuillée. Pendant les trois mois de janvier, février, mars, le supplément de température sous bois reste mesuré.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

En novembre,décembre et avril,il fait plus chaud sensiblement aussi souvent au-dessus de la prairie que sous bois.Le désavantage forestier estival est aussi net que sur les moyennes,mais il présente des oscillations qui,sur quelques jours atteignent couramment deux degrés ou plus.

Il n'a pas été possible de pousser plus loin l'analyse au sein des séquences de temps:la connaissance des températures extrêmes n'y suffit plus.En outre si la référence à Nevers est acceptable pour les conditions d'insolation,elle ne l'est pas pour le vent,dont les variations locales sont importantes.

Sans doute serait-il possible de serrer la réalité de plus près par l'enregistrement continu des températures.Il peut paraître également souhaitable que les mesures soient reprises sur une plus grande échelle,afin de lever de façon sûre les divergences,ou contradictions,qui sont apparues avec les données recueillies dans d'autres régions et de distinguer les faits de portée générale d'éventuelles situations de signification locale ou microclimatique.

Il est bien connu que les plantes du sous-bois doivent,en phénophase feuillée,s'accomoder d'une quantité d'énergie réduite de manière sélective.Il ne semble pas que les espèces pérennes profitent de conditions hivernales moins rigoureuses que la végétation des champs et des prairies,au moins en ce qui concerne la température de l'air.L'étude du comportement thermique de l'habitat forestier ne remet-elle pas ainsi en question l'idée d'une situation plus favorable,à laquelle conduisait la re-

## LE CLIMAT FORESTIER

connaissance des modalités de pénétration du rayonnement d'origine solaire dans les différents couverts végétaux? La température intègre l'influence d'autres facteurs que la radiation captée. Mais il faut aussi remarquer que le bilan radiatif est établi pour toute l'épaisseur de la forêt, alors que les données thermométriques sont seulement celles du sous-bois. Le supplément d'énergie qui pénètre au niveau des couronnes n'intéresse de façon importante les strates inférieures que si la structure du peuplement s'y prête, ce qui ne se trouve pas partout réalisé.

### 2 - LE SOL:

Les grands traits de la répartition et de l'évolution de la température dans les sols sont connus. Hormis en surface, le sol forestier est, par rapport à l'air, plus chaud en hiver, plus froid en été. La référence aux limites astronomiques des saisons semble préférable à une mise en corrélation avec l'alternance phénophase feuillée, phénophase défeuillée : le croisement des courbes figurant le cours annuel des températures dans l'air, et dans le sol à toutes les profondeurs, intervient à la mi-mars, puis selon l'horizon, de fin novembre à fin décembre (2) : la marche annuelle du rayonnement solaire pèse donc plus que la succession des stades phénologiques sur les processus thermiques du sol.

---

(1) - cf. notamment Demolon A., 1937, -1952.

(2) - Schnock G., 1967 a.

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

Il n'a pas été possible d'entreprendre une véritable étude, régionale ou locale, de la question. Certes, la station des Brays, près de Cérilly, a récolté pendant quelques années des indications très précises. Mais, installée en limite de la Forêt de Tronçais, elle n'était ni une station de plein découvert, ni une véritable station forestière. De surcroît, il n'existe pas de terme de comparaison, les mesures de Bourges étant intervenues trop tard pour être mises en parallèle avec celles du poste des Brays, alors déplacé jusqu'à une ferme du voisinage, hors de l'ambiance forestière directe.

Des observations ponctuelles ont été effectuées à l'occasion de relevés botaniques; ne sont rapportées ici que des mesures relatives à l'évolution prévernale de la température.

A partir du 26 et du 27 février 1969, une vaste zone de hautes pressions s'est développée de la Russie aux Iles Britanniques. Sur la région règne un flux d'air froid de Nord-Est, interrompu le 1er et le 2 mars par un courant perturbé dont la partie nord occluse donne localement des pluies persistantes et un temps maussade. Le ciel se dégage le 4 et les gelées momentanément suspendues reprennent. La journée du 4 mars bénéficie d'un ensoleillement remarquable (9 h 4/10 à Nevers), mais le Tx ne dépasse pas 10,3°, et au matin il y a -0,2 dans l'abri.

Une mesure est faite dans l'après-midi près de Dun-sur-Auron. L'air forestier, vers 18 heures, n'a pas encore été affecté de manière nette par la baisse vespérale de température (Fig. 69 p. 101). Mais la journée, malgré la durée d'insolation n'a pas été assez chaude pour entraîner une supériorité thermique diur-

## LE CLIMAT FORESTIER

ne réelle de la surface du sol (Fig. 69 b).

Le flux continental persiste les jours suivants. Le temps ensoleillé est précédé de brumes matinales; les gelées nocturnes sont vives ( -4 le 7 à Nevers, -5,7 le 8, -5,1 le 9). Mais le réchauffement pendant le jour devient progressivement important.

C'est un schéma très classique qui est observé le 9 mars à 15 h, en forêt de Balleray (15 km au Nord-Est de Nevers), dans une chênaie-charmaie dont le sol lessivé est développé sur l'éluvium. Le thermomètre indique 15,5° dans l'air à environ 1 m au-dessus du sol, valeur tout à fait comparable à celle enregistrée simultanément à Nevers dans l'abri météorologique (Fig. 70 a, p. 101). En surface du sol, la température est de 22°, mais elle est seulement de 5° à 10 cm comme à 20 cm de profondeur (Fig. 70 b).

En cette sortie d'hiver, le froid nocturne commande encore le régime thermique du sol, dont le capital-chaleur s'est appauvri pendant la mauvaise saison. Seuls les tout premiers centimètres sont affectés par un réchauffement qui, dans l'ambiance lumineuse favorable du moment, autorise cependant l'éclosion de quelques plantes vernales, dont les parties souterraines se situent à proximité de la surface.

La veille, 8 mars, quatre observations avaient été faites au Mont-Martin, à 5 km au Sud-Est de Clamecy (Fig. 71, p. 101).

- 1 - une sur le versant Sud, sur la pelouse à brachypode, (sol dégradé sur marnes bathoniennes);
- 2 - une autre, sur le même versant, dans le sous-bois de la chênaie de chêne pubescent (sol rendziniforme);
- 3 - une sur le plateau sommital, sous un peuplement de



## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

chêne et charme, (sol lessivé sur éluvium);

4 - la quatrième sur le versant Nord, sous la forêt de chêne, érable champêtre et tilleul, (sol rendziniforme).

Seule l'observation N° 1 présente des températures au sol plus élevées que celles de l'air; dans les trois autres, effectuées sous bois, le sol est, à l'heure des mesures, plus froid, ou au mieux, aussi chaud que l'air; cette occurrence paraît liée à deux conditions: d'une part, les sols, au voisinage de la "capacité au champ" (1) présentant une bonne conductibilité, les pertes par rayonnement sont élevées, mais inversement l'énergie incidente pénètre aisément dans le sol; d'autre part, si le soleil est bon, le vent est par moments assez vif.

Sur le versant Sud, favorisé, le réchauffement marque une nette avance; il est plus intense sous la prairie, qui bénéficie pleinement de l'insolation, que sous la forêt, où cependant l'abri permet une température de l'air plus élevée de 1,5°. Dans les deux cas, il intéresse - au moins - les deux premiers décimètres.

Le sol du versant Nord est, à 20 cm de profondeur, plus froid d'un bon degré, et le réchauffement, limité par un apport énergétique plus faible n'intéresse, comme à Balleray que les quelques centimètres supérieurs.

Le sol du sommet, développé sur l'éluvium qui couronne la butte, présente une conductibilité différente de celle des sols sur calcaire ou marno-calcaire. La courbe de refroidissement

---

(1) - la "capacité au champ" est la quantité d'eau que le sol, saturé par des pluies prolongées et abondantes, conserve après un ressuyage de 48 h (eau capillaire et eau de gravité à écoulement lent.- cf. Duchaufour Ph., 1965.

## LE CLIMAT FORESTIER

nocturne s'inscrit encore dans la situation de 16 h (TU) par un crochet que le réchauffement diurne n'a pas réussi à effacer.

A partir du 10 mars et jusqu'au 2 avril, une succession de temps perturbés apporte des précipitations abondantes. Le 21 mars est la seule journée bien ensoleillée, dans une brève séquence anticyclonique intercalaire. Les jours précédents, les *maxima* ont oscillé entre 13 et 16°; les températures nocturnes se sont tenues le plus souvent autour de 7 à 9°. Les pulmonaires sont fleuries et par endroits l'anémone sylvie.

Deux observations sont réalisées:

- la première aux buttes de Gron, entre la Charité et Bourges, dans une chênaie-charmaie, presque au sommet d'un versant exposé à l'Est; le sol lessivé est développé sur l'argile à silex;
- la seconde près de Maubranche, à une quinzaine de kilomètres à l'Est de Bourges, dans une formation broussailleuse plantée en pins peu serrés; le sol est rendziniforme.

Une demi-heure sépare les deux observations; cet intervalle est suffisant pour que se produise une légère variation des conditions thermiques de l'air (Fig. 72 a, p. 101). Les températures en surface sont très semblables; dans les deux cas, elles sont supérieures à celles enregistrées à partir de 10 cm de profondeur. Le réchauffement est plus avancé dans la rendzine que dans le sol sur argile à silex: l'écart à 20 et à 30 cm est d'environ 3,5° (Fig. 73 b); il n'était que de l'ordre du ½° au Mont-Martin, une douzaine de jours plus tôt. Mais, entre les deux sta-

## LE REGIME THERMIQUE FORESTIER

tions berrichonnes, il n'y a pas seulement une différence de sol, les coefficients de couverture de la végétation sont plus inégaux que sur la butte des confins Nivernais-Basse-Bourgogne.

Ces quelques observations sont en accord avec la notion de variabilité rapide de la température dans les deux ou trois premiers décimètres du sol. Elles suggèrent l'idée d'un retard du réchauffement sous forêt. Elles mettent l'accent sur l'importance des phénomènes d'orientation et des différences édaphiques dans une phase qui marque l'articulation du régime d'hiver au régime d'été.

## I I

# LES DEUX SAISONS DE LA FORET

## 1° - LES CONDITIONS

### DE LA PERIODE HIVERNALE

Dans la vie de la forêt de feuillus, encore que le fait soit moins visible que pour la forêt de résineux, il n'y a pas vraiment de "morte-saison" (1). Le développement de la végétation pendant l'été est largement sous la dépendance des conditions de la période hivernale. L'une et l'autre saisons peuvent d'ailleurs être troublées par des accidents climatiques qui occasionnent des dégâts plus ou moins graves.

Le "sommeil de la végétation" n'exclut pas la persistance d'une activité biologique chez certains arbustes ou arbrisseaux (houx, fragon, ronces, genévrier); et pour les arbres une faible transpiration hivernale par les organes ligneux a pu être observée. Mais l'hiver est surtout la saison de la levée de dormance et de la reconstitution de la réserve d'eau du sol, qui à l'"arrêt de la végétation" est encore, bien souvent dans la région, assez loin de son *maximum*.

---

(1) - Birot P., 1965; - Jacquiot C., 1970.

## LES CONDITIONS DE LA PERIODE HIVERNALE

### Le problème des levées de dormance:

Les travaux des physiologistes ont montré les insuffisances, et à la limite l'inexactitude, de l'idée classique selon laquelle "la Nature s'endort" dans nos régions à l'automne, notamment les feuillus de la forêt, pour se "réveiller" au printemps suivant, avec l'amélioration des conditions climatiques. Pour le géographe, il est important de tenir compte du fait que le "sommeil" hivernal des plantes n'est pas la simple conséquence de l'arrivée de la mauvaise saison, et que les froids jouent au contraire, pour beaucoup de végétaux, un rôle décisif dans l'effacement du phénomène fort complexe désigné sous le nom de dormance.

Dans un premier temps, la dormance peut être définie comme l'état physiologique des organes végétaux, bourgeons dans le cas des ligneux, mais aussi graines, bulbes, dans lequel tout développement, toute croissance sont impossibles. L'entrée en "vie ralentie" est un véritable changement d'état, qui se traduit à la fois dans la réduction des activités métaboliques et par un accroissement de la capacité de résistance aux conditions défavorables.

A s'en tenir aux végétaux de nos régions, les recherches sur les conditions de l'établissement de la dormance ont montré que celle-ci, loin d'être liée à la détérioration des conditions thermiques de l'arrière-saison, s'installe au contraire pendant

## LE CLIMAT FORESTIER

la période d'activité de la végétation ; elle s'établit progressivement dès le mois de mai pour le frêne (1), de juillet au début de l'automne pour beaucoup d'espèces, mais selon des modalités très diverses : le charme, le tilleul à grandes feuilles (*Tilia platyphyllos* Scop.), l'alouchier (*Sorbus aria* (L.) Crantz), les aubépines, le prunellier, la bourdaine (*Frangula alnus* Mill.), qui en année météorologiquement favorable, ont pendant les trois ou quatre premiers mois de la belle saison une croissance continue, simplement affectée de variations cycliques de vitesse, voient ensuite se développer les processus de la vie ralentie ; par contre, le hêtre (2), et plus encore le chêne connaissent des périodes de dormance labile pendant l'été : chez le chêne, la pousse d'avril s'interrompt en mai ; elle est relayée par la pousse de la Saint-Jean, générale seulement dans les gaulis de moins d'une dizaine d'années, suivie d'une pousse d'août, voire d'une pousse d'arrière-saison, dans les fourrés de moins de quatre ans (3).

Les ralentissements et les arrêts de la croissance sont attribués à l'intervention de facteurs limitants externes, tels que des conditions énergétiques défavorables, un ravitaillement en eau insuffisant, une nutrition minérale déficitaire..., mais aussi à des processus endogènes (4).

L'étude du comportement des végétaux en conditions climatiques contrôlées a permis de démontrer que la permanence de la

---

(1) - Doorenbos J., 1953.

(2) - Späth H.L., 1912, in Lavarenne-Allary, 1965.

(3) - Lavarenne-Allary S., 1965.

(4) - Wareing P.F., 1956.

## LES CONDITIONS DE LA PERIODE HIVERNALE

vie ralentie pendant l'hiver répond en réalité à deux types de situations:

- certains végétaux, comme le troène, le sureau, le bouleau, introduits en serre chauffée, se révèlent capables de débourrer dès le début de l'automne (octobre), après un séjour en printemps artificiel dont la durée diminue à mesure que l'automne puis l'hiver s'avancent; dans la nature, cette aptitude à la reprise de la croissance ne se manifeste pas, car les conditions climatiques ne le permettent pas;

- les autres espèces sont au contraire frappées d'une incapacité durable de développement; ainsi, les rameaux de châtaignier, introduits en chambre climatisée en décembre ou en janvier ne présentent aucune évolution des bourgeons; la même observation est faite sur le chêne jusqu'en février (1).

Il est donc nécessaire de distinguer:

1° - la dormance vraie, ou *DORMANCE ENDONOME*, qui du fait qu'elle persiste pendant la plus grande partie de la durée de l'hiver, alors même que celui-ci est supprimé artificiellement, ne doit rien aux conditions saisonnières du moment;

2° - le phénomène qu'on appelle *DORMANCE AITIONOME* ou *QUIESCENCE* et qui, par contre, n'est que le prolongement dans le temps à travers la mauvaise saison, -et du fait notamment d'une insuffisance thermique-, d'une incapacité de croissance acquise durant la période de végétation de l'année précédente (dormance

---

(1) - Lavarenne-Allary S., 1965.

## LE CLIMAT FORESTIER

vraie), mais qui se trouve levée, ou très atténuée, dès le début de l'automne pour certaines plantes beaucoup plus tardivement pour d'autres.

La dormance aitionome joue donc à l'échelle du "pays géographique", ou même d'une région pas trop étendue, dans le sens d'une approximative simultanéité dans le départ de la végétation, pour les différentes espèces; l'uniformisation est naturellement imparfaite, et fort variable d'une année à l'autre en fonction des caractères météorologiques des périodes prévernale et vernale, et des exigences thermiques propres à chaque taxon pendant la période de croissance avant le débourrement.

Ce sont les conditions de la levée de la dormance vraie qui risquent d'avoir les implications géographiques les plus importantes. Pour la plupart des espèces de nos régions, la dormance endonome disparaît par la réception d'une certaine "dose de froid", en fait par un séjour d'une durée convenable dans une ambiance caractérisée par des températures plus basses que celles qui définissent la saison de croissance; le seuil de référence n'est pas le zéro de l'échelle Celsius, et le terme "froid" n'implique nullement des températures négatives, ce qui justifie la levée de certaines dormances dès l'automne.

D'autres facteurs entrent d'ailleurs en jeu; ainsi, les bourgeons de hêtre sont davantage dormants en janvier qu'en octobre; pour cette essence, c'est la photo-période qui est l'agent principal de la levée de dormance (1).

Dans le cadre régional, pour toutes les espèces dont la dor-

---

(1) - Wareing P.F., 1956, - Lavarenne-Allary S., 1965.



## LES CONDITIONS DE LA PERIODE HIVERNALE

mance vraie est réduite par le froid, il y a lieu de penser que les bourgeons seraient susceptibles de débourrer un peu plus tôt dans la partie nivernaise, dont l'hiver est plus rude (1), qu'en Berry. La référence au nombre de jours de gelée (2) ne fournit pas une indication satisfaisante, le zéro du thermomètre n'ayant pas de signification physiologique réelle par rapport au phénomène en question. Une autre approche peut être cherchée dans la répartition des températures cumulées (3) au-dessous d'un certain seuil, malgré l'arbitraire qui préside nécessairement au choix de ce seuil, dans la mesure où la loi d'action de la température sur la levée de dormance de chaque espèce n'est pas connue, et où on effectue ce choix en se référant aux exigences thermiques de phénomènes autres que la dormance, ou à des phénomènes physico-chimiques.

Du 1er octobre au 31 mars, par rapport au seuil de  $+ 16^{\circ}$ , le méridien de Bourges marque à peu près la limite entre le secteur de 17 à 1800 degrés-cumulés au-dessous de ce repère, et celui de 18 à 1900; par rapport au seuil de  $+ 14^{\circ}$ , c'est la Loire qui sépare la région en deux parties, celle de 14 à 1500 degrés-cumulés à l'Ouest, celle de 15 à 1600 à l'Est.

Cette possibilité d'une levée plus précoce de la dormance endonome sur le plateau nivernais ne s'exprime pas dans le paysage, car la dormance aitionome retarde le moment du débourre-

---

(1) - cf. chapitre 1

(2) - comptés seulement pendant les périodes automnale et hivernale, à l'exclusion des gelées printanières.

(3) - cf. le paragraphe "la saison de végétation", où la question des cumulations de températures est examinée de façon plus développée, p. 204.

## LE CLIMAT FORESTIER

ment, mais elle pourrait justifier que, malgré son désavantage thermique vernal, l'Est de la dition ne soit pas affecté par un décalage perceptible dans le départ de la végétation.

Toutefois le phénomène de levée de dormance est fort complexe. L'étude du comportement de la vigne (1) a notamment montré que l'action d'une même "période-dose de froid" varie beaucoup selon le moment où son application intervient, et permet d'envisager l'existence possible de deux mécanismes susceptibles d'assurer le développement des bourgeons, levée de dormance et croissance avant le débourrement. Au plan géographique, la question devra être reprise lorsque les aspects physiologiques du problème seront mieux connus.

Pour les essences qui, comme le hêtre, sont sensibles à la photopériode, l'extension en latitude du périmètre étudié est si réduite qu'elle apparaît comme un gage d'une levée de dormance simultanée.

### La reconstitution de la réserve d'eau du sol:

Fin octobre, début novembre, lorsque la consommation d'eau de la végétation devient très faible, la réserve du sol est parfois déjà reconstituée par les pluies d'automne, parfois encore très loin de l'être. C'est l'hiver qui assure le plein, pratiquement intact au début du printemps suivant: cette situation résulte à la fois de l'importance des précipitations, et de la faiblesse des pertes par évaporation.

---

(1) - Nigond J., 1967.

## LES CONDITIONS DE LA PERIODE HIVERNALE

On peut admettre que, dans la région, les sols dont la texture et la structure sont les plus propices à la constitution d'une réserve en eau importante ont une capacité au champ de l'ordre de 250 mm. La confrontation de ce chiffre avec la quantité d'eau apportée par les précipitations hivernales suffit *a priori* à définir pour le Sud du Bassin Parisien des conditions favorables de formation (ou de reconstitution) de la réserve, puisque aucune partie du Berry ou du Nivernais ne reçoit normalement moins de 250 mm d'eau (1), pour une faible part sous forme de neige, pour la plus grande sous forme de pluie (Tableau 30 et Fig. 76, p. 104).

Cette première approche de la question peut être affinée. Beaucoup de sols ont une capacité de rétention nettement plus faible, certaines rendzines berrichonnes ne pouvant guère contenir qu'une quantité équivalant à 100 mm de précipitations, tandis que les valeurs les plus élevées sont à mettre au compte de sols épais, développés sur l'argile à silex ou sur l'éluvium jurassique. Or, les pluies sont réparties de telle manière qu'au-dessus des régions où la réserve est de l'ordre de 100 mm, les précipitations de mauvaise saison fournissent 250 à 300 mm, et qu'elles atteignent plus de 350 mm au-dessus des sols à capacité au champ élevée. C'est dire que, étant donné l'excédent partout disponible, les conséquences de la variabilité interannuelle ont toutes chances d'être limitées.

---

(1) - il faut aller, soit dans le fossé de Montluçon, soit en Basse-Bourgogne aux environs d'Auxerre, pour que les précipitations hivernales tombent au-dessous de 250 mm.

## LE CLIMAT FORESTIER

Un examen détaillé des conditions hivernales pendant la période 1952-1973 confirme ce point de vue (Fig. 73-74-75, p. 102-103). Les évaluations de l'évapotranspiration réelle durant la phénophase feuillée (1) conduisent à admettre que certaines années l'eau des sols dont la réserve ne dépasse pas 100 mm peut se trouver à l'automne proche de l'épuisement. Par contre, les situations analysées permettent d'envisager pour les sols dont la capacité de rétention atteint 250 mm, une humidité résiduelle de l'ordre de 80 mm à la fin d'une phénophase feuillée sèche. L'apport indispensable à la reconstitution de la réserve au niveau de la capacité au champ se situe donc dans la fourchette 100 - 170 mm.

Durant la période considérée, les précipitations hivernales présentent un coefficient de variation de l'ordre de un cinquième à un quart, supérieur à celui des précipitations annuelles (Tableau 30). A Châteauroux, trois années ont une pluviosité inférieure au seuil moyenne moins écart-type, à Bourges deux, à Nevers une seule. Mais jamais le total des pluies de novembre à mars n'est tombé au-dessous du niveau de 170 mm, nécessaire à la reconstitution des plus importantes réserves. L'excédent, presque toujours important, atteint encore des valeurs plus élevées si l'on tient compte des précipitations d'octobre, lesquelles sont loin d'être utilisées intégralement par une évapotranspiration déclinante, qui s'approche rarement de la valeur 50 mm pour le mois entier.

---

(1) - cf. le paragraphe "couverture des besoins en eau", p. 210 sq.

## LES CONDITIONS DE LA PERIODE HIVERNALE

Certes, il ne faut pas oublier l'interception par le houppier d'une fraction de la pluie: même si l'on applique l'abattement de 20 % qui paraît convenable à l'échelle de l'année pour la rétention réelle, mais est trop élevé en phénophase défeuillée, la recharge de la réserve d'eau du sol forestier se trouve réalisée.

Pendant la mauvaise saison, une fois le ressuyage terminé, les sols ne perdent guère d'eau. L'évaporation n'est pas nulle, mais elle est rapidement freinée. Quand il est très humide, le sol nu évapore dans des termes proches de ceux d'une nappe d'eau, abstraction faite de l'influence de la structure (1). Mais l'énergie disponible est longtemps limitée; d'ailleurs l'apparition d'un "horizon" superficiel desséché, qui devient le siège d'une diffusion sous phase gazeuse principalement (2) "tamponne" l'évaporation, qui se poursuit (3) avec une valeur très atténuée. C'est dire que des périodes d'insolation brutale, de pouvoir évaporant de l'air élevé, ne réussissent pas à compromettre la réserve d'eau du sol, dont le maintien est assuré par la moindre pluie. Même la période venteuse de fin d'hiver, les "hâles" de mars, n'opère pas de prélèvements capables de compromettre le ravitaillement ultérieur des plantes.

Le sol couvert par une végétation en état d'inactivité n'évapore pas davantage; on peut donc admettre que, lorsque se produit dans la région le réveil printanier, les sols présentent

---

(1) - Féodoroff A. et Rafi M., 1962 a.

(2) - Collis George N., Hénin S. et Kelly J.A., 1963; - Morizet J., 1967.

(3) - Hallaire M., 1963; - Turc L., 1954.

## LE CLIMAT FORESTIER

des réserves d'eau, différentes certes en fonction de leurs caractéristiques, mais partout pratiquement intactes.

### 2° - LA SAISON DE VEGETATION

C'est à l'égard des conditions de couverture des besoins en eau de la forêt, - et des autres formations -, que les contrastes sont les plus vigoureux, entre un Berry aux tendances xériques affirmées chaque année, et un Nivernais où les sécheresses ne prennent pas le même degré de gravité. Mais, au cours de la saison de végétation, entre Berry et partie orientale de la région, les données énergétiques comportent des nuances suffisamment sensibles pour justifier les différences floristiques, et pour autoriser la présence dans l'Ouest de la région de groupements végétaux de caractère dans l'ensemble plus thermophile.

En dehors des aspects purement locaux du bilan calorifique, dont l'interprétation paraît en général assez simple, encore qu'il soit souvent difficile d'isoler les diverses variables, les différences d'échelle spatiale plus étendue (à partir de celle du pays), capitales pour l'explication des contrastes floristiques et phytosociologiques, sont difficiles à appréhender; les références classiques aux normales thermiques ne fournissent que des repères beaucoup trop vagues; et l'utilisation des méthodes de cumulation de températures ou d'indices de développement soulève d'autres problèmes théoriques et pratiques.

## LA SAISON DE VEGETATION

### Durée de la saison de végétation:

Bien que l'apport énergétique varie d'une année à l'autre avec les conditions de l'insolation, les fondements astronomiques du climat situent, pour la région, la saison de végétation de la forêt des environs du quinze avril au début de novembre. Encore ne faut-il pas oublier les difficultés que présentent la localisation dans le temps de l'arrêt comme celle du départ de l'activité. Pour les ligneux, la question controversée de savoir si la reprise commence par les bourgeons ou par le cambium, et dans ce cas, par les branches ou par le tronc, est du domaine de la physiologie (1); mais son rappel souligne que le début de la phénophase feuillée, lui-même flou, ne constitue qu'un repère tardif, - bien qu'il soit par ailleurs capital à l'égard du problème de la consommation de l'eau - . L' "entrée en repos " ne se laisse pas définir plus simplement; la référence à l'interruption de la croissance en longueur des rameaux est exclue; et une appréciation médiate de la chute brutale de la photosynthèse à travers l'évolution du feuillage garde nécessairement un caractère imprécis.

### LE PROBLEME DES REPERES PHENOLOGIQUES:

La recherche de repères phénologiques s'est révélée décevante. Les données locales de la littérature sont trop souvent

---

(1) - cf. Jacquot C., 1970.

## LE CLIMAT FORESTIER

suspectes: il y a eu visiblement des confusions entre les différentes espèces de sorbiers; il n'est pas vraisemblable que, dans les bois de La Machine, près de Decize, le muguet ait toujours fleuri le 10 mai de 1901 à 1911, que les premières feuilles du charme soient constamment apparues le 1er avril à partir de 1898, ni que la foliation du chêne rouvre ait commencé exactement le 15 du même mois à compter de 1905. Les observations faites sur le terrain montrent que, pour les plantes herbacées, les données microclimatiques ont, dans le cadre étudié, plus d'importance que des différences régionales, dont l'ampleur s'avère limitée. Pour les ligneux, la variation, maintes fois signalée, d'un individu à l'autre, fait que les récolements n'autorisent qu'avec réserves à tabler sur une très légère avance du Berry occidental dans l'éveil de la forêt: un peu partout, la reprise de végétation du bouleau devient perceptible en mars, celle du chêne pédonculé, selon les années du 8 au 15 avril, celle du rouvre avec un décalage d'une bonne semaine. Ces constatations sont en accord avec la contradiction, signalée précédemment, entre les conditions de la levée de dormance, plus efficace à l'Est, et la réalisation de l'ambiance thermique mettant fin à la quiescence, un peu plus précoce à l'Ouest.

### LA REFERENCE A LA TEMPERATURE DU SOL:

Le rôle des conditions d'éclairement (1), l'importance des phénomènes de thermo-périodisme, celle aussi peut-être du de-

---

(1) - Chouard P., 1947, -1951, -1957.



## LA SAISON DE VEGETATION

gré d'oxygénation du sol (1), empêchent l'établissement de relations claires entre l'évolution de la température de l'air d'une part, l'éveil et l'arrêt de la végétation d'autre part.

La température du sol pèse aussi sur les processus biologiques. Moins fluctuante que celle de l'air, qui est soumise étroitement aux variations de nature météorologique, elle traduit mieux le cours annuel du bilan radiatif. Il faut toutefois tenir compte du fait que les plantes du sous-bois, à enracinement superficiel, ne se trouvent pas dans les mêmes conditions que les arbres.

En Forêt de Tronçais, l' "entrée en repos " de la végétation correspond sensiblement au moment où, à la station des Brays (2), la température du sol à 60 cm de profondeur descend au-dessous du niveau de 10°, ce qui se produit selon les années entre le 20 octobre et le 10 novembre (Fig. 77, p. 105). Il y a déjà longtemps que les premiers décimètres sont plus froids que les horizons inférieurs, l'écart atteignant 1/2° à 1° dans la première moitié d'octobre (Fig. 80, p. 107).

Il est par contre plus délicat de mettre le débourrement des plantes vernales en relation avec un repère adéquat. Il existe, semble-t-il, une correspondance approximative avec le temps où le seuil de + 4° est dépassé de manière irréversible, tant à 30 cm qu'à 60 cm au-dessous de la surface, le fait étant d'ailleurs plus significativement exprimé par les courbes d'en-

---

(1) - Lumière A., 1921.

(2) - les observations de la station des Brays définissent correctement les conditions régionales dans lesquelles s'effectue le développement de la forêt, bien qu'elles ne traduisent pas l'évolution de la température du sol sous la forêt.

## LE CLIMAT FORESTIER

registrement quotidien des températures (Fig. 79, p. 106 et 82, p. 109) que par les graphiques des moyennes décadaires (Fig. 77 et 78, p. 105). C'est l'époque où, mis à part les premiers centimètres, une isothermie approchée, temporaire, du sol se réalise, et marque l'articulation entre le régime d'hiver, où les horizons profonds sont plus chauds, et le régime d'été où les conditions sont inversées (Fig. 80).

Selon les forêts, le développement des perce-neige d'abord, puis celui des jonquilles, de la véronique à feuilles de lierre, de l'hellébore, de l'anémone sylvie, du gouet..., apparaissent ainsi comme les témoignages que le bilan radiatif net du sol devient positif.

Néanmoins, le cycle des plantes vernales, en raison de la variabilité des conditions aérologiques, se situe, inégalement d'une année à l'autre, dans un contexte thermique heurté, dont le gel parfois intense en surface (Fig. 79) n'est que l'expression la plus visible. Ainsi, durant le premier printemps de 1963 (Fig. 81, p. 108), après le vigoureux coup de froid par régime anticyclonique qui affecte la fin de février et les premiers jours de mars, la courbe de réchauffement du sol enregistre de manière très amortie, à un mètre de la surface, la succession rapide des masses d'air; mais à 60 cm et plus encore à 30 cm interviennent des fluctuations qui, d'une séquence de temps à la suivante, atteignent pour le niveau profond 1 à 3°, et pour l'autre jusqu'à 5° dans la deuxième décade de mars, et encore 3° fin avril. En surface, il gèle à - 4° les 23 et 24 mars et à - 2° le 3 avril. Le thermomètre tombe au-dessous de + 2° une vingtaine de fois,

## LA SAISON DE VEGETATION

c'est-à-dire pratiquement un jour sur deux de la mi-mars à la fin d'avril.

A l'époque où se développent les premières plantes du sous-bois, le gonflement des bourgeons est perceptible, -inégalement-, chez certains ligneux (chèvrefeuille, troène, sureau, bouleau). Mais le démarrage général de la végétation forestière ne se fait guère avant que la température à 60 cm de profondeur n'atteigne 11 à 12°. A ce moment, les courbes des années successives se rapprochent dans un intervalle étroit (Fig. 82, p. 109, également Fig. 78), ce qui signifie que la radiation solaire a alors compensé à moyenne profondeur les inégalités du refroidissement hivernal, et que les données astronomiques du climat prennent le pas sur les circonstances aérologiques du moment.

### *SOMMES DE TEMPERATURES*

### *ET CUMULATIONS D'INDICES DE DEVELOPPEMENT:*

On peut se demander si une autre corrélation ne devrait pas être cherchée avec le moment où une certaine quantité d'énergie est capitalisée au sol, en tirant parti des données statistiques présentement disponibles (1) sur les sommes de températures et les cumulations d'indices de développement.

Depuis Réaumur, on a employé les cumulations de température au-dessus d'un certain seuil, correspondant au "zéro de végétation", auquel commencent à entrer en jeu les processus vitaux

---

(1) - renseignements communiqués par M. N. Gerbier, S.S.M. Climatologie, Paris.

## LE CLIMAT FORESTIER

qui conditionnent croissance et développement (1): "zéro de germination" pour les plantes annuelles, "zéro de croissance" pour les plantes vivaces (2).

Le procédé a justifié d'expresses réserves. Malgré la reconnaissance de rapports, dans les conditions naturelles, entre bilan radiatif et températures, s'exprime d'abord une objection de principe contre la notion de somme de températures, qui correspond à une addition de repères, non de quantités d'énergie.

Un second motif de circonspection concerne l'utilisation des températures cumulées pour comparer les incidences biologiques du climat dans des régions éloignées, notamment quand elles sont de latitude très différente. Dans la mesure où le périmètre étudié présente, du point de vue astronomique et du point de vue aérologique, des conditions sensiblement homogènes, le parallèle est en principe réalisable.

Une troisième difficulté réside dans l'incertitude qui entoure les températures retenues comme seuils. Pour les espèces de nos régions, notamment les arbres, les indications sont rares, indécises, et la fourchette des valeurs est ouverte: le niveau de  $5^{\circ}$  a été proposé pour le bouleau, peu exigeant,  $10^{\circ}$  pour la vigne; la valeur moyenne  $6^{\circ}$  est souvent retenue. Mais le "zéro de végétation" n'est pas seul à considérer; la succession des divers stades de développement au cours de l'année multiplie le

---

(1) - le terme de développement s'applique à l'évolution qualitative du végétal, marquée par une succession de repères phénologiques (germination, feuillaison, floraison, etc...); le terme de croissance s'applique à l'évolution quantitative du même végétal (accroissement en longueur, en surface, en volume).

(2) - Durand R., 1967.

## LA SAISON DE VEGETATION

problème, puisqu'il faudrait normalement déterminer autant de seuils que de dates-origines.

L'utilisation des  $Q_{10}$  est de prime abord plus satisfaisante pour l'esprit; elle trouve sa justification scientifique:

- d'une part dans les enseignements de la cinétique chimique (Van't Hoff, Arrhénius, Oswald...), établissant la variation à peu près exponentielle de la vitesse des réactions chimiques, en fonction de la température, l'expression usuelle du phénomène étant: la vitesse de réaction est multipliée par un facteur constant lorsque la température augmente de  $10^{\circ}$  (d'où le nom de  $Q_{10}$  appliqué à ce coefficient). La transposition de cette relation aux processus biochimiques est acceptable avec la prudence requise lorsqu'il s'agit de l'appliquer non à une réaction unique mais à un ensemble très complexe de réactions.

- d'autre part, sur les travaux expérimentaux sur la vitesse de croissance de végétaux en fonction de la température: ils conduisent à une famille de courbes représentatives différant légèrement selon les espèces, et échappant à une définition simple: elles ne sont exponentielles ou approximativement linéaires que sur une partie de leur tracé.

Utilisant les mesures effectuées par Lehenbauer sur le maïs, Livingston a pu montrer que les allongements des pousses étaient proportionnels à des coefficients de température (ses "indices thermophysiologiques").

Malheureusement, le manque d'informations sur les indices thermophysiologiques a conduit à se contenter d'établir par tâ-

## LE CLIMAT FORESTIER

tonnement des ajustements empiriques entre vitesse de croissance ou de développement des végétaux cultivés d'une part, et d'autre part valeurs de  $Q_{10}$ , dates de départ des cumulations et sommes d'indices correspondant à un stade donné (1).

Les  $Q_{10}$  proposés pour les plantes de culture (2) se situent couramment aux alentours de 2 ou 3 (2,5 à 2,8 pour les bourgeons floraux de poirier, 2,5 pour les variétés tardives à 3,75 pour les variétés précoces de pommier). Si l'on peut accepter cet ordre de grandeur pour la végétation naturelle, le choix des dates initiales de cumulation fait problème. Il semblerait opportun de retenir pour chaque plante le moment où la levée de dormance endonome est réalisée : cet instant est malheureusement inconnu. Mais, dans une perspective géographique, les objectifs différant de ceux de l'agronomie (3), d'autres repères sont acceptables.

Janvier et février étant dans la région les mois les plus froids, une cumulation à partir du 1er janvier (Tableaux 31 et 32, p. 110) permet de déterminer le niveau atteint au moment où

---

(1) - L'évaluation de la valeur quotidienne de l'indice de développement, pour un  $Q_{10}$  établi expérimentalement, ou arbitrairement choisi, est effectuée selon plusieurs procédés, dont le plus simple utilise le *maximum* ( $T_x$ ) et le *minimum* ( $T_n$ ) de température, comptés en degrés Celsius :

$$\text{Indice quotidien} = Q^{\frac{T_x}{10}} + Q^{\frac{T_n}{10}}$$

Par exemple, pour  $Q_{10} = 2,5$ ,  $T_x = 23^\circ$  et  $T_n = 7^\circ$  :

$$\text{Indice quotidien} = 2,5^{2,3} + 2,5^{0,7} = 10,1$$

(2) - Bidabé B., 1963, - Niqueux M. et Arnaud R., 1967.

(3) - Dans une perspective agronomique, les cumulations d'indices de développement ont été appliquées par exemple à l'étude de la précocité d'épiaison des graminées, au contrôle de la date de floraison des arbres fruitiers.

## LA SAISON DE VEGETATION

commence le cycle végétatif des plantes vernales. La figure 83 (p. 111) donne, pour le Berry et le Nivernais, les courbes représentatives pour  $Q_{10} = 2$ , de la moyenne, de la moyenne augmentée de l'écart-type, de la moyenne diminuée de l'écart-type (1). Elle montre que la cumulation d'indices s'établit aux alentours de 75, en retenant la fourchette 15 février-10 mars pour l'entrée en activité des plantes précoces, la première date correspondant au cas favorable où la somme atteint  $M + \sigma$ , la seconde aux situations inverses ( $M - \sigma$ ).

Pour  $Q_{10} = 3$  (Fig. 84, p. 111), et pour des dates identiques, c'est à 90 environ que se situe la cumulation. Dans les deux cas la différence entre Berry et Nivernais paraît à peu près négligeable.

Pour les ligneux, le choix de l'indice de l'éveil peut se faire entre le gonflement des bourgeons et l'apparition des feuilles, celle-ci étant bien plus facile à discerner. En raison des décalages importants entre les diverses essences, il y aurait lieu de retenir plusieurs fourchettes de temps. Si l'on considère l'intervalle début-avril - début-mai comme acceptable néanmoins pour la plupart des espèces, c'est autour de 175 que se situe la cumulation des indices pour  $Q_{10} = 2$  (Fig. 83), et aux environs de 240 pour  $Q_{10} = 3$  (Fig. 84). Pour le bouleau, un nombre très inférieur, de 130 pour  $Q_{10} = 2$  à 150 pour  $Q_{10} = 3$  devrait être envisagé.

Il faut se garder d'oublier que cette manière d'apprécier

---

(1) - Les indices cumulés de Châteauroux et de Bourges, distingués pour  $Q_{10} = 3$  aux niveaux  $M + \sigma$  et  $M - \sigma$ , n'ont pu l'être pour  $Q_{10} = 2$ .

## LE CLIMAT FORESTIER

les circonstances dans lesquelles se produit l'éveil de la forêt présente les inconvénients d'une double sélection arbitraire pour les  $Q_{10}$  et pour l'origine de la cumulation. Un changement dans les valeurs-repères retenues serait le prix d'un raisonnement fondé sur d'autres choix de  $Q_{10}$  et (ou) de dates. Dans tous les cas, la conclusion répond du moins à la réalité observée, à savoir l'absence dans la répartition de différences importantes sur la durée de la saison de végétation.

### Bilans thermiques comparés en saison de végétation:

Par contre, l'examen des données climatiques estivales a montré l'existence, entre Berry et Nivernais, de décalages notables, conséquences des différences d'altitude, des effets de relief et de sol, de la répartition des formations végétales, dans le bilan au sol de la quantité d'énergie approximativement égale dispensée par la radiation solaire.

#### 1 - TEMPERATURES CUMULEES:

La méthode des sommes de températures conduit à l'idée d'une remarquable identité des conditions pour le Berry de Bourges et la Champagne de Châteauroux. Par rapport au seuil de  $+ 6^{\circ}$  (Fig. 85, p. 112 et Tableau 33, p. 113), et pour une saison de végétation largement entendue, du 10 mars au 20 octobre, le total est à peu près de  $2000^{\circ}$ ; que ce soit au printemps, en été ou en automne, la différence entre les deux stations M.N. n'atteint



## LA SAISON DE VEGETATION

jamais 2 %. Elle n'est pas probante. Nevers, par contre, enregistre une infériorité qui frôle les 7% par rapport à Bourges. Les taux les plus élevés correspondent au printemps; mais les pourcentages ne doivent pas faire illusion: les écarts absolus sont faibles à cette saison. En réalité, la différence quotidienne moyenne s'accroît assez régulièrement au cours de la période de végétation, passant de 3/10 de degré dans la phase prévernale à 6/10 en été et 7/10 en automne (Tableau 35, p. 115).

Comparées aux valeurs hivernales, 66 degrés cumulés à Bourges du 1er janvier au 10 mars, 67 à Châteauroux, 61 à Nevers, ce qui correspond à un retard journalier du Nivernais de moins d'un dixième de degré, ces observations montrent que la péjoration des conditions thermiques dans l'Est de la région, peu marquée en hiver, ce qu'avait déjà montré l'analyse consacrée à la durée de la saison de végétation, s'accroît tout au long de l'année. Il en résulte que du point de vue chaleur, les plantes sont d'autant plus désavantagées, à l'Est de la Loire, que leur développement commence et se termine plus tard.

Par rapport au seuil de 10° (Fig. 86, p. 113 et Tableau 34, p. 114), les écarts relatifs entre Bourges et Nevers sont accentués. Mais en réalité, le choix d'un "zéro de végétation" plus élevé retarde de manière appréciable le moment où l'écart quotidien devient sensible (Tableau 35). Néanmoins, à l'échelle de l'année, Bourges cumule chaque jour un bon demi-degré de plus que Nevers.

La phénologie moyenne de chaque espèce, ignorante de la notion d'écotype, n'enregistre pas de décalages significatifs ré-

## LE CLIMAT FORESTIER

pendant à cet examen des températures cumulées. On trouvera aisément dans cette constatation la confirmation des réserves exprimées à l'égard de la méthode. Mais sans doute faut-il tenir compte aussi que les valeurs de Nevers définissent davantage la situation des couloirs topographiques, où le phénomène d'inversion matinale est fréquent, que celle du plateau, dont l'infériorité thermique risque donc d'être atténuée. Surtout, les espèces présentes dans l'ensemble de la région sont de celles qui possèdent une grande souplesse écologique et qui ont donc toutes chances de ne pas être affectées par les coefficients de variation enregistrés.

Par contre, les données globales de la Chorologie sont en accord avec le bilan régional des températures cumulées: le cortège des plantes thermophiles est en Berry bien plus abondant et plus divers, et constitué d'espèces plus exigeantes. Mais cette originalité est sans doute à mettre aussi largement au compte des influences favorables de nature édaphique que des circonstances purement climatiques.

$$Q = \sum_{i=1}^n q_{10}^i$$

L'utilisation de la méthode des  $Q_{10}$  de préférence à celle des sommes de températures ne change guère les résultats.

La cumulation des indices pour  $Q_{10} = 3$  confirme les conclusions tirées de la sommation des températures au-dessus des seuils de 6° et 10°. L'idée d'un printemps berrichon biologiquement plus favorable ne s'appuie que sur un avantage de 5%:20

## LA SAISON DE VEGETATION

points sur un total de 380 en quatre mois, du 1er février au 31 mai (Tableau 36, p. 115 et Fig. 87a, p. 116). Les valeurs maximales d'une part, l'écart-type de l'autre, montrent que c'est seulement au cours d'une saison bénéficiant d'une chaleur exceptionnelle que la supériorité thermique du Berry augmente; encore est-ce seulement vers la fin mai, et essentiellement autour de Châteauroux. Par contre, si le printemps est médiocre, les végétaux peuvent se trouver en Nivernais dans des conditions à peu près identiques à celles qui règnent sur l'ensemble de la plaine à l'ouest de la Loire, et même parfois temporairement dans une ambiance un peu moins mauvaise.

Sur la fin de la saison de végétation (Fig. 87b et Tableau 37, p. 116), les contrastes sont plus vigoureux. Les courbes expriment l'affaissement progressif de la cumulation dès avant le 15 septembre. Mais les conditions thermiques en Berry restent les meilleures pour la région; et l'écart à la fin d'octobre, pour une cumulation commencée le 1er août, est de l'ordre de 40 points en moyenne, 50 en arrière-saison chaude; il est réduit de moitié quand le temps est durablement maussade.

Entre les dates-limites 15 avril et 31 octobre qui, dans le domaine étudié encadrent à peu près la phénophase feuillée, les forêts berrichonnes se trouvent dans des conditions thermiques correspondant à 1250 indices de développement cumulés, la forêt nivernaise un peu moins de 1150 en moyenne (Fig. 88, p. 117 et Tableau 38, p. 118).

En fonction des normales, on serait tenté de ne retenir que l'opposition entre l'ouest et l'est de la région. De nouveau, la

## LE CLIMAT FORESTIER

prise en compte des écarts-types et des valeurs extrêmes nuance ce schéma. Lorsque l'année s'affirme défavorable, une relative homogénéisation des conditions thermiques se réalise, mais la péjoration atteint davantage les environs de Châteauroux que ceux de Bourges. Durant les années chaudes, l'écart se creuse, la Champagne orientale gardant le plus souvent un léger avantage sur Châteauroux.

Il est commode de voir dans ces observations la confirmation que les plantes les plus thermophiles se trouvent exclues du Nivernais par la rareté des années très chaudes. Toutefois, il n'est pas possible de lier cette situation à un seuil d'indices cumulés précis (par exemple le niveau 1250), car ce serait perdre de vue que chaque phase de développement doit, pour chaque plante, être envisagée séparément.

A ce stade de l'analyse, sans doute n'est-il pas inutile de rappeler les conditions régionales auxquelles doit être imputé le déficit thermique du Nivernais : les données aérologiques ne sont pas fondamentalement en cause, l'insolation non plus, qui est au contraire dans l'ensemble un peu plus forte à Nevers. Ainsi se trouvent soulignées, d'un point de vue biologique, l'influence des sols qui contribue à rendre le Berry plus chaud, l'action de l'altitude, du relief, et de l'étendue des masses forestières par la dissipation d'énergie liée à la transpiration, qui assurent au Nivernais des températures plus basses. Par contre, la variation interannuelle plus importante, les valeurs constamment plus élevées des écarts-types dans le Berry occidental, sont sans doute à mettre en relation avec une insolation

## LA SAISON DE VEGETATION

plus troublée par le passage des perturbations dans la partie de la dition qui est la plus proche de l'océan : paradoxalement, l'influence atlantique s'exprime pour les plantes dans des conditions thermiques plus heurtées.

Les bilans régionaux devraient encore avoir égard qu'à l'action stimulante de la chaleur s'oppose éventuellement, à partir de 40 ou 50°, l'effet antagoniste de phénomènes s'exerçant au niveau des propriétés fondamentales des protéines (1).

C'est en vérité une donnée écologiquement peu importante dans nos régions. Cet échelon de température n'est certes pas exclu pour certains organes végétaux au voisinage immédiat du sol. Aux Brays, des températures de + 40° en surface, du sol nu ont été atteintes épisodiquement, 3 fois seulement en 1960, 5 fois en 1963, 8 fois en 1962, 16 fois en 1964 et 17 fois en 1961 (Fig. 89, p. 118); cette situation s'est réalisée du 10 juin (en 1964) au 16 septembre (en 1961), mais elle se produit surtout en juillet-août. Dans le contexte édaphique et végétal de la Forêt de Tronçais, compte tenu de la régulation thermique par transpiration et convection, le risque de freinage de la croissance par excès de température apparaît bénin. On peut penser qu'il en est de même sur le plateau nivernais et dans le Berry coupé du Sud-Est. Par contre, les vitesses de réchauffement observées sur les rendzines, notamment celles qui sont occupées par des pelouses discontinues, rendent vraisemblable une fréquence plus élevée de cette occurrence à travers le reste du Berry.

---

(1) - Durand R., 1967.

## LE CLIMAT FORESTIER

Le phénomène, limité dans le temps, ne paraît pas cependant en mesure d'inverser le sens de la balance thermique, favorable malgré le flou qui l'entoure, à la Champagne berrichonne. Mais l'élaboration de la biomasse n'est pas pour autant obligatoirement plus lente, plus limitée à l'Est de la Loire: à conditions de chaleur égales, une autre contrainte pèse très lourd sur les processus vitaux, la manière dont sont satisfaits les besoins en eau de la végétation.

### La couverture

#### des besoins en eau de la végétation:

Sans qu'il soit nécessaire d'aborder le problème de la quantité d'eau mise en jeu par l'élaboration d'un kilogramme de matière sèche (1), la coexistence dans la région étudiée de formations végétales, les unes de caractère mésophile, certaines localement très hygrophiles, d'autres de type xérophile, a attiré l'attention, dès le début de ce travail, sur la nécessité de déterminer avec le *maximum* de précision la manière dont des exigences hydriques très différentes sont satisfaites.

---

(1) - Birot P., 1965.

## LA SAISON DE VEGETATION

### I - Choix d'une méthode d'étude:

#### 1 - POSITION DU PROBLEME:

L'appréciation des besoins en eau de la végétation est envisagée à différentes échelles d'espace et de temps. Les valeurs instantanées au niveau de la plante, voire de la feuille, sont du domaine de recherche du physiologiste; mais il est nécessaire de prendre en considération les faits qui sont établis dans cette perspective pour analyser correctement les relations entre la couverture végétale et les conditions d'humidité avec lesquelles elle est en équilibre, stable ou instable.

Dans une optique géographique, le problème a pu être abordé dans l'esprit et selon les méthodes de la climatologie séparative. Dans un premier temps, la solution a été cherchée dans la formulation d'indices pluvio-thermiques qui, à partir des normales des températures et des précipitations, ont permis d'observer, pour des échelles moyennes et petites, des concordances d'une approximation satisfaisante entre la répartition de la végétation et les isolignes du coefficient empiriquement établi.

La seconde étape a été la définition de l'évapotranspiration potentielle, conduite dans le même esprit, c'est-à-dire la recherche de moyennes de valeurs, parfois mesurées par des évapotranspiromètres, plus couramment calculées à partir d'expressions tenant compte d'un nombre variable de paramètres climatiques classiques.

## LE CLIMAT FORESTIER

L'une et l'autre méthodes ont été appliquées à l'étude des conditions climatiques de la région (1); d'utiles indications ont été obtenues (2).

Mais les deux manières de procéder soulèvent des objections de principe. Les indices, qui ont constitué historiquement une étape indispensable, sont des abstractions empiriques: cette constatation ne condamne pas leur emploi dans l'absolu, malgré les réserves expresses méritées par certains, mais elle incline à leur préférer si possible une autre approche de la réalité climatique.

Les diverses évaluations de l'évapotranspiration potentielle appellent de leur côté plusieurs remarques:

1 - la biosphère est supposée subir passivement les injonctions de l'atmosphère;

2 - le seul aspect quantitatif des précipitations, et plus spécialement les normales, sont tout à fait impropres, dans nos régions à grande variabilité saisonnière et interannuelle, à mesurer les quantités d'eau réellement mises à la disposition de la végétation.

3 - l'évapotranspiration est elle-même caractérisée par des valeurs extrêmement changeantes (3); or, elle n'est pas seulement la synthèse de différents éléments du climat; elle en est aussi un facteur; chaque valeur instantanée de l'évapotranspiration pèse sur son devenir.

---

(1) - Arléry R., Garnier H. et Langlois R., 1954; - Braque R., 1961; - Ministère de l'Agriculture, 1964-65; - Gay F.P., 1966.

(2) - cf. p. 245-247.

(3) - Bouchet R.J., 1961.



## LA SAISON DE VEGETATION

4 - le concept d'évapotranspiration potentielle (ETP) est plus intéressant d'un point de vue agronomique que dans une optique strictement géographique, car s'il autorise la détermination d'une limite de productivité agricole, il ne représente qu'une virtualité bioclimatique. Pour la végétation naturelle, c'est l'évapotranspiration réelle (ETR) qui est susceptible de jouer le rôle de facteur limitant dans l'élaboration de la biomasse, que celle-ci soit annuelle pour l'essentiel, pour les formations herbacées, ou capitalisée de saison en saison, pour les groupements de ligneux. C'est donc la relation  $ETR/ETP$  qui, en rendant compte de la manière dont les plantes sont approvisionnées en eau, de l'existence éventuelle, et dans l'affirmative de la gravité des sécheresses, c'est-à-dire de leur intensité, de leur durée, de leur continuité, ou de leur répétition dans le temps, ou de leur caractère épisodique, explicite les véritables conditions hydriques du développement de la couverture végétale. Mais l'ETR n'enregistre pas simplement les sollicitations du climat. Elle exprime tout autant la réponse de la biosphère, de l'ensemble sol - végétation à la demande climatique, et cette réponse ne se situe pas dans une perspective statique.

Il semble donc qu'à une échelle spatiale de l'ordre de grandeur de la région explorée, et dès lors qu'il s'agit de rechercher les conditions propres non à des formations mais à des associations végétales placées dans un contexte édaphique précis, une méthode plus compréhensive soit nécessaire : un nouveau recours à l'étude monographique permet l'approche dynamique du phénomène.

## LE CLIMAT FORESTIER

L'entreprise comporte des difficultés. L'analyse de l'ETR en fonction des caractéristiques hydriques du sol est un point délicat. D'autre part, il serait illusoire d'espérer, dans l'appréciation quantitative de l'ETP, une précision à laquelle le phénomène ne se prête pas (1). Les indications des évapotranspiromètres ne sont pas exemptes de reproches : ils mesurent l'évapotranspiration réelle maximale d'une végétation donnée (couverture herbacée en principe) dont il n'est pas probable qu'elle coïncide avec l'ETP durant toute une saison de végétation, dont le cycle de la plante ne représente qu'une partie. De surcroît, les effets d'oasis peuvent être générateurs d'erreurs (2). Quant aux valeurs calculées de l'évapotranspiration potentielle auxquelles on recourt en l'absence de mesures, et c'est malheureusement le cas pour la région, elles ne peuvent être regardées que comme des ordres de grandeur (3).

Mais ces réserves ne concernent pas la seule méthode monographique, et en revanche, les avantages de celle-ci sont sérieux. En offrant la possibilité de suivre l'ETP et l'ETR dans le cadre des séquences de temps, en fondant les calculs sur des

---

(1) - Hallaire M., 1954.

(2) - Bouchet R.J., 1961; - Bouchet R.J. et Robelin M., 1969.

Bouchet (1961) estime que les évapotranspiromètres installés à Versailles donnent l'ETP avec une erreur relative qui certaines années peut atteindre 15% à l'échelle du mois.

On appelle effets d'oasis les transferts latéraux d'énergie liés au déplacement des masses d'air, dont les caractères sont modifiés par leur passage, successivement, au-dessus d'unités territoriales dont le sol et le couvert végétal diffèrent.

(3) - les valeurs obtenues pour les formations herbacées ou buissonnantes ne peuvent naturellement pas être considérées comme nécessairement significatives pour la forêt, en raison des différences d'albedo, de rugosité...

## LA SAISON DE VEGETATION

paramètres relativement homogènes à cette échelle de durée, cette analyse devrait permettre d'échapper, au moins en partie aux compensations statistiques qui justifient le reproche, couramment adressé à l'ensemble des formules utilisées, d'atténuer les fluctuations de la demande.

D'autre part, le cadre temporel se prête à l'établissement de corrélations pratiquement instantanées entre les besoins en eau de la végétation et les disponibilités du moment, héritées, ou renouvelées par les précipitations.

A défaut d'une impossible précision quantitative, l'enquête monographique permet donc d'espérer une approche qualitative satisfaisante des conditions hydriques qui sont offertes aux groupements végétaux. Dans une seconde étape de l'analyse, il devient possible de tester par comparaison le degré de confiance qui peut être accordé aux estimations de la couverture des besoins à partir de paramètres déterminés à intervalles constants, -la décade plutôt que le mois cependant-, et d'apprécier si le flou qui en résulte n'est pas un prix exagéré de la simplification des calculs.

### 2 - LES ETAPES DE L'ANALYSE:

#### *A - Appréciation de l'évapotranspiration potentielle:*

Avant d'exposer les résultats de l'étude régionale de la couverture des exigences hydriques de la forêt, il est nécessaire d'en présenter les étapes, et de justifier les options qu'elle a conduit à choisir.

## LE CLIMAT FORESTIER

### *Les stations de référence:*

Comme celle de n'importe quel élément du climat, l'appréciation de l'ETP suppose l'existence de stations ayant une réelle signification régionale. Dans les conditions d'homogénéité climatiques de la Champagne berrichonne, l'utilisation des données de Bourges M.N. et de Châteauroux M.N., à la limite d'une seule station, ne soulève pas d'objection. Pour les pays de relief heurté du Berry méridional et du Nivernais, où l'ambiance régionale est faite de l'addition de climats locaux, Nevers M.N. fournit *a priori* une approximation acceptable, dans la mesure où elle enregistre correctement les fluctuations thermiques et hygrométriques caractéristiques de l'Est de la région. Mais les précipitations y sont plus faibles que sur le plateau: à l'égard du problème de l'eau, la station risque donc de refléter les conditions les plus défavorables de la région: que celles-ci se révèlent bonnes, et l'on pourra conclure qu'elles le sont *a fortiori* sur le plateau.

Il paraissait néanmoins nécessaire d'opérer une confrontation des données de Nevers avec celles d'autres postes d'observation, répartis dans les secteurs forestiers, depuis la Puisaye jusqu'au Sud du Bazois. Neuf stations furent donc installées en 1962 (1), tenues soit par des agriculteurs, soit par des agents des Eaux et Forêts; toutes ne fonctionnèrent pas au mieux; seules

---

(1) - Les stations étaient équipées d'abris simplifiés, dont les renseignements furent testés par comparaison avec les données de l'abri anglais à la station de Nevers M.N..

## LA SAISON DE VEGETATION

deux séries sans lacunes purent être obtenues, l'une à la Maison forestière du Chasnay, près de Prémery, l'autre à la Maison forestière de l'Usage Défendu, près du hameau de Bois de Raveau, dans une clairière de la Bertrange (1).

Les abris étaient pourvus, en fonction de la méthode retenue pour le calcul de l'ETP, d'un matériel n'exigeant pas des observations trop astreignantes de la part de collaborateurs bénévoles.

### *Choix d'une formule de calcul*

#### *L'évapotranspiration potentielle:*

Les formules utilisables pour le calcul de l'ETP sont nombreuses et de complexité très inégale. Certaines ont pour objet de donner des résultats plus ou moins rigoureux; d'autres ont gagné une certaine notoriété par la simplicité de leur utilisation. En fait, les rites d'expressions résultant d'ajustements statistiques, la méthode d'analyse monographique les faisait écarter puisqu'elles sont par essence adaptées à des évaluations dans des échelles de temps définies de manière conventionnelle. A l'inverse, cette méthode orientait la préférence vers les équations fondées sur la balance d'énergie, qui se prêtent mieux à des déterminations dans le cadre de séquences météorologiques de durée variable, ce qui n'empêche pas de les utiliser également pour des intervalles réguliers.

---

(1) - à 9 km à l'Est de la Charité.

## LE CLIMAT FORESTIER

Parmi les formules disponibles, le choix se porta sur celle de Penman et sur celle de Bouchet. Pas plus qu'aucune autre, l'équation de Penman (1) n'a échappé totalement aux critiques (2), notamment lorsqu'elle utilise des paramètres qui ne sont pas tous mesurés (3). Elle a aussi l'inconvénient d'exiger des calculs assez lourds. Mais elle est pourtant considérée par de nombreux observateurs comme donnant une image très correcte de l'ETP, non seulement dans ses valeurs globales, mais dans ses fluctuations également.

La formule de Penman permettait une comparaison aisée entre les trois stations M.N.. Mais elle requiert la connaissance de la vitesse du vent, de la tension de vapeur, et la mesure du rayonnement, ou à défaut de l'insolation. Il n'était pas concevable de demander ces observations aux stations du plateau.

---

(1) - L'expression générale de la formule de Penman est:

$$E = \frac{H\Delta + \gamma E_a}{\gamma + \Delta}, \text{ dans laquelle:}$$

E = évapotranspiration potentielle en mm/jour,  
H = budget de chaleur: énergie disponible pour la vaporisation de l'eau, soit: rayonnement global reçu par le système - (rayonnement réfléchi + rayonnement net émis par le système + rayonnement utilisé par la photosynthèse),  
 $\gamma$  = constante psychrométrique (couche turbulente),  
 $\Delta$  = pente de la courbe donnant la tension *maxima* de la vapeur d'eau en fonction de la température, à la température de l'air,  
 $E_a$  = pouvoir évaporant de l'air, fonction du déficit de saturation et de la vitesse du vent.

On trouvera des expressions détaillées, utilisables pour le calcul, dans Riquier J., 1963, - Goyon G., 1964, - Gleizes C., 1965, - Brochet P. et Gerbier N., 1968 et 1974.

(2) - Tanner C.B. et Pelton W.L., 1960.

(3) - En l'absence de mesures de la radiation solaire incidente, il est nécessaire de recourir à une valeur calculée à partir des données d'insolation. La quantité de chaleur reçue au sol, obtenue selon l'ajustement empirique de Turc, n'est donc pas connue avec une parfaite exactitude.

On peut redouter aussi des erreurs provenant de l'utilisation de la formule de Brunt.

## LA SAISON DE VEGETATION

Or, l'expression de Bouchet (1), qui peut être considérée comme une simplification de l'équation de Penman, a l'avantage de se contenter, en plus des mesures classiques de température, du relevé des indications de l'évaporomètre Piche. A l'époque où le "réseau" d'observateurs était mis en place (1962), les études effectuées en Limagne (2) révélaient une fort bonne corrélation entre l'ETP calculée selon cette formule et l'ETP mesurée. Le point faible de la méthode pouvait être l'introduction d'un coefficient  $\alpha$  de nature complexe. Néanmoins, il semblait alors que sa valeur fût indépendante des conditions de climat, et qu'elle relevât seulement des caractéristiques instrumentales, celles de l'abri et celle du Piche (3).

L'inconvénient qui résulte de l'utilisation de deux formules ne fut pas ignoré. Mais les deux expressions reposaient sur la même base: l'appréciation de la quantité d'énergie disponible pour l'évapotranspiration. La station de Bourges, équipée d'un Piche (4), permettrait au prix d'un double calcul de vérifier le bon accord des résultats obtenus de l'une et l'autre façons. De toute manière, la possibilité de divergences éventuelles paraissait moins grave que les risques qu'eût entraînés le recours à

---

(1) - la formule de Bouchet (1960 a et b) est:

$$E = \alpha (1 + \lambda(\theta)) E_p, \text{ avec:}$$

$(1 + \lambda(\theta))$  : fonction de la température  $\theta$ , moyenne arithmétique de la température moyenne de l'air et de la température du point de rosée.

En pratique, pour  $T_x = \text{maximum}$  et  $T_n = \text{minimum}$ ,  $\theta$  est proche de  $\frac{T_x + 3T_n}{4}$ ;

$E_p$  : évaporation enregistrée au tube de Piche;

$\alpha$  : coefficient empirique.

(2) - Robelin M., 1962.

(3) - Bouchet R.J., 1960.

(4) - ni Châteauroux, ni Nevers ne disposaient alors de cet appareil.

## LE CLIMAT FORESTIER

des ajustements statistiques non conçus pour être appliqués à des périodes de durée variable et réduite, l'accent étant mis dans l'étude sur la dynamique de la consommation de l'eau.

Pendant que le phénomène était à l'étude, la notion d'évapotranspiration potentielle était progressivement analysée de manière plus précise. Les divers modes de calcul étaient testés dans de nombreuses régions, et leur degré de concordance avec les mesures lysimétriques signalé.

Dans le cadre régional, il apparut bientôt que la parenté attendue entre les résultats obtenus respectivement par la formule de Penman et par celle de Bouchet ne se manifestait pas avec une proximité satisfaisante.

Pour des séquences de temps très brèves (jusqu'à 3 jours) une cause de discordance réside dans le fait que les données utilisées ne se situent pas dans les mêmes limites de temps: l'évaporation sur la pastille de buvard du Piche est comptée par périodes de 24 heures s'étendant de 6 h un jour à 6 h le lendemain; la tension de vapeur et le vent, qui interviennent dans le deuxième terme de l'équation de Penman, sont normalement donnés pour l'intervalle 0-24h. L'utilisation des carnets d'observation ou des tableaux climatologiques mensuels pourrait toutefois permettre de revenir à des repères identiques (1).

Des discordances plus graves mettaient en cause non seulement la possibilité de comparer les résultats obtenus à partir

---

(1) - après sondage, il n'a pas paru indispensable d'y recourir systématiquement, en raison d'une neutralisation approximative des erreurs commises par la cumulation des valeurs successives d'ETP.



## LA SAISON DE VEGETATION

des deux formules, mais aussi la crédibilité de ces résultats pour l'une, ou pour l'autre, ou pour les deux. On pouvait incriminer les ajustements empiriques acceptés dans l'emploi de l'expression de Penman (1) ; la plupart des expérimentateurs continuaient cependant de considérer les chiffres fournis par cette équation comme étant en bon accord avec les valeurs d'ETP mesurées.

On pouvait aussi suspecter, dans la formule de Bouchet, la signification réelle du coefficient  $a$  et douter de son invariabilité. Ce facteur sera explicité (2) comme étant le produit de deux éléments :

$a_0$ , coefficient instrumental dépendant des caractéristiques de la surface évaporante (la pastille de buvard) et de la réduction de ventilation due à l'abri, donc constant en principe pour un appareillage donné, au moins dans certaines limites de vitesse du vent ;

$a_1$ , coefficient climatique, exprimant l'influence de l'évapotranspiration réelle sur l'évapotranspiration potentielle, donc différent d'une zone climatique à l'autre, et dans nos régions, variable saisonnièrement, puisque dépendant des conditions aérologiques et du stade phénologique de la végétation ; la connaissance de ce facteur permet de donner à la formule de Bouchet une signification à l'échelle d'un territoire étendu au lieu d'une signification ponctuelle.

---

(1) - Businger J.A., 1959.

(2) - Schoch P.G. et de Villèle G., 1961 ;  
Bouchet R.J., 1963, -1965 a.

## LE CLIMAT FORESTIER

L'expression de Bouchet risquait de perdre beaucoup de son intérêt régional, en raison de la difficulté de déterminer  $a$ , et donc  $a$ . Un étalonnage par comparaison avec les données d'évaporomètres était exclu. Une évaluation par référence aux résultats obtenus de la formule de Penman, selon l'expression:

$$a = \frac{ETP \text{ Penman}}{E_p (1 + \lambda(\theta))}$$

pouvait être envisagée pour Bourges, mais il n'y avait pas de raison de penser que le coefficient caractérisant le Berry oriental était valable pour l'ensemble de la région et notamment pour le Nivernais. L'estimation de  $a$  à l'aide d'un "indice agro-climatique" (1), exigeait la connaissance de paramètres non mesurés par les stations du plateau.

Mais il apparaît scientifiquement fondé d'utiliser les renseignements collectés à Prémy et Bois de Raveau par une adaptation de la formule de Penman. L'évapotranspiration potentielle  $E = \frac{H\Delta + \gamma E_a}{\gamma + \Delta}$ , ou plus simplement  $E = f(H) + f(E_a)$ , est la somme de deux termes: le premier correspond au reliquat d'énergie disponible localement; le second synthétise l'influence de l'énergie apportée par advection et l'aptitude instantanée de l'air à absorber de la vapeur d'eau. Les données de l'observation autorisent à postuler que le terme  $f(H)$  a une signification spatiale assez étendue. Certes, des variations locales importantes de l'in-solation, à partir de laquelle la radiation solaire est calculée, ont été signalées (2); on peut pourtant considérer que les

---

(1) - Brochet P. et Gerbier N., 1968.

(2) - Lagard M., 1969.

# LA SAISON DE VEGETATION

valeurs enregistrées à Nevers M.N. constituent une indication acceptable pour Prémery et Bois de Raveau, localités distantes à vol d'oiseau de 20 à 25 km. Par contre, le terme  $f(Ea)$ , qui dépend du déficit de saturation de l'air et de la vitesse du vent, a surtout une signification locale, et à la limite ponctuelle, puisque le vent est affecté par les conditions topographiques et par l'effet de brise-vent de la forêt, et que l'hygrométrie est aussi soumise à l'influence de la végétation.

Il est possible cependant d'évaluer  $f(Ea)$  sans mesures locales de la vitesse du vent ni de la tension de vapeur, par référence à l'évaporation d'une surface ( $E_s$ ), placée dans des conditions de rayonnement net nul, ce qui est pratiquement le cas sous abri, à condition de tenir compte du coefficient instrumental ( $a_0$ ) évoqué précédemment.

Dans ces conditions, la température de la dite surface  $E_s$  étant  $\theta$ , l'expression de Penman devient:

$$E_s = 0 + f(Ea) \quad (1)$$

En désignant par:

$\Delta_\theta$ , la pente de la courbe donnant la tension *maxima* de vapeur en fonction de la température, à la température de la surface d'évaporation à l'intérieur de l'abri:

$\gamma_1$ , la constante psychrométrique en régime d'écoulement laminaire de l'air,

$$E_s = f(Ea) = \frac{\gamma_1 E_a}{\Delta_\theta + \gamma_1} \quad (2)$$

$$E_a = E_s \frac{\Delta_\theta + \gamma_1}{\gamma_1} \quad (3)$$

La valeur de l'évaporation à partir de la surface  $E_s$  dans l'abri est donnée par l'évaporation lue au tube de Piche, affectée du coefficient instrumental  $a_0$ , d'où:

$$E_a = a_0 E_p \frac{\Delta_\theta + \gamma_1}{\gamma_1} \quad (4)$$

$$\text{et} \quad E_a = a_0 E_p \left( 1 + \frac{\Delta_\theta}{\gamma_1} \right) \quad (5)$$

$$\text{ou, en posant } \frac{\Delta_\theta}{\gamma_1} = \lambda(\theta), \quad E_a = a_0 E_p (1 + \lambda(\theta)) \quad (6)$$

ce qui n'est autre que la formule de Bouchet, dans laquelle le coefficient  $a$  a été remplacé par  $a_0$ , ce qui lève l'inconnue de  $a_1$ .

## LE CLIMAT FORESTIER

Pour obtenir l'ETP, le postulat initial d'un budget de chaleur radiative à signification régionale étant admis, il devient acceptable d'utiliser l'équation:

$$\text{ETP}_{\text{mm/jour}} = \frac{\Delta H}{\Delta + \gamma} + \alpha_0 E_p (1 + \lambda(\theta)) \quad (7)$$

Cette manière d'opérer ne met en doute les mérites et l'intérêt ni de l'expression de Penman, ni de celle de Bouchet (1). Mais elle offre le moyen de suivre l'ETP là où tous les paramètres nécessités par les calculs selon l'équation de Penman ne sont pas réunis, l'un des facteurs du coefficient de Bouchet ( $\alpha_0$ ) étant par ailleurs inconnu. Reste naturellement à déterminer le coefficient instrumental  $\alpha_0$ : la valeur 0,4 a été retenue, avec une variabilité de  $\pm 10\%$ ; des tests prolongés permettraient sans doute d'affiner cette évaluation. De toute manière, l'erreur possible n'est pas plus grave que celle à envisager sur l'appréciation du terme  $(1 + \lambda(\theta))$ , en l'absence de la connaissance du point de rosée. Les deux erreurs peuvent se compenser ou se cumuler: il subsiste un flou certain dans la détermination de l'ETP. C'est une raison supplémentaire de donner la primauté à la dynamique du phénomène, plutôt qu'à ses valeurs momentanées.

Mais il ne faut pas mésestimer le risque de voir la valeur de  $E_p$ , et donc celle de ETP, sensiblement surestimées en période de chaleur et de sécheresse, par apparition de l'effet d'oasis à l'échelle de l'abri (2). Pour l'interprétation correcte des ré-

---

(1)- Des entretiens avec M.N. Gerbier (S.S.M., Clm., Paris), ont confirmé la validité de la méthode, ainsi que l'ordre de grandeur retenu pour  $\alpha_0$ . Depuis la rédaction de ce chapitre, Brochet P. et Gerbier N. ont publié leur point de vue sur la question (1972 et 1974).

(2) - Riquier J., 1963.

## LA SAISON DE VEGETATION

sultats, il est heureux que sur le plateau nivernais, où étaient installés les postes d'observation, ces séquences de temps ne soient ni très longues ni très accusées.

### *Evapotranspiration potentielle et climat de la forêt:*

Les conditions de climat propres aux formations forestières (1) justifient la discussion, éventuellement la révision, des éléments qui sont pris en compte de manière générale pour la détermination des valeurs de l'évapotranspiration potentielle.

Le budget de chaleur d'origine radiative est accru de façon sensible par rapport à l'environnement rural du fait de l'albedo réduit des couronnes: pour une approche aussi convenable que possible des besoins potentiels en eau des surfaces boisées, il y a lieu (2) de tabler sur une réflectivité moyenne de 15%, alors que les calculs sont souvent faits sur la base de  $a = 25\%$ ; l'évaluation de l'ETP en fonction de cette seconde valeur reste toutefois très souhaitable, comme élément de comparaison, puisqu'elle correspond approximativement aux conditions qui règnent au-dessus de l'espace agricole, champs et prairies.

Les estimations fondées sur un albedo invariable ne sont pas pleinement satisfaisantes, dans la mesure où il est établi que le pouvoir réfléchissant est affecté d'une double modulation, en fonction du stade phénologique d'une part, des conditions météorologiques de l'autre. Au printemps et à l'automne,

---

(1) - cf. chapitre I,3 ,p. 86 sq., et chapitre II,2 ,p. 155 sq.

(2) - cf. chapitre II,2 .

## LE CLIMAT FORESTIER

lorsque le couvert est incomplet, la quantité *maxima* d'énergie disponible pour l'évapotranspiration peut à la limite se réduire à la fraction du rayonnement transmis jusqu'au sol. Aussi n'a-t-il pas paru superflu d'envisager des évaluations de l'ETP faisant intervenir des variations du budget de chaleur selon l'état de la couverture végétale et le type de temps; mais en raison des incertitudes qui pèsent sur les ajustements empiriques, l'acceptation des résultats requiert la plus grande prudence.

Le deuxième terme de l'équation de Penman, fonction de la vitesse du vent et du déficit de saturation de l'air, mériterait aussi d'être reconsidéré, en tenant compte de la rugosité de la forêt (1). Mais la relation entre architecture de la biosphère et rugosité n'est pas facile à établir: faut-il, dans le cas de la forêt, prendre en considération la hauteur totale au-dessus du sol, ou l'épaisseur des couronnes, ou la dénivellation entre futaie et sous-étage? Et il n'est pas sûr que le facteur rugosité ait la même valeur sur les bordures et au coeur des massifs boisés.

Au demeurant, ce n'est pas seulement  $f(v)$  qui devrait être modifié pour la plus juste appréciation du pouvoir évaporant de l'air, mais aussi le déficit de saturation  $e_w - e$ . Les observations sur l'humidité dans la forêt et à son voisinage suggèrent l'existence d'un degré hygrométrique plus élevé au-dessus des bois; la mesure de la température à ce niveau serait indispensable pour connaître  $e_w$ .

---

(1) - Tanner C.B. et Pelton W.L., 1960.

## LA SAISON DE VEGETATION

Le deuxième terme de l'équation de Penman fait donc peser son hypothèque sur le bilan de l'ETP forestière. Il y a risque de sous-évaluation par temps humide et venteux, de sur-évaluation par temps calme et sec.

Une autre difficulté provient encore de l'interception d'une partie des précipitations par le couvert (1). Son retour à la phase vapeur augmente l'ETR, et la consommation d'énergie qui en résulte limite la transpiration végétale. En outre, l'eau retenue par le houppier et aussitôt restituée à l'atmosphère joue un rôle médiat à double sens dans l'évolution locale de la réserve d'eau du sol: d'une part, elle diminue la demande, et donc en contre-partie l'intervention éventuelle des forces de freinage, d'autre part, en permettant ainsi une consommation non, ou moins réduite, elle est à terme un facteur de freinage accru. S'en suit-il que le résultat final ne soit guère modifié? Une tentative pour calculer l'incidence de l'eau de rétention des couronnes, faite pour l'été sec de 1964, dans les conditions de climat de Prémery, pousserait à cette conclusion, puisque le supplément accordé à la végétation, entre le 1<sup>er</sup> août et le 11 octobre, paraît avoir été, dans l'hypothèse de sols à forte capacité de rétention, de l'ordre de quelques millimètres, soit beaucoup moins de 5% de la quantité consommée (2,7%). Les calculs d'ETP n'atteignent pas une telle précision. Mais il n'est pas objectivement possible de généraliser sans de nombreuses évaluations conduites dans le cadre des séquences de temps.

---

(1) - cf. p. 142-143.

## LE CLIMAT FORESTIER

L'évocation de ce problème attire par contre l'attention sur le rôle du sol et sur celui de la végétation dans la consommation de l'eau.

*B - Le rôle de la végétation et celui du sol:*

*Vers l'approche de l'évapotranspiration réelle:*

L'évapotranspiration potentielle constitue la limite vers laquelle tend l'évapotranspiration maximale des plantes durant une fraction plus ou moins longue de leur cycle végétatif. Elle représente les conditions optimales d'élaboration de la biomasse dans l'ambiance thermique locale. Mais la végétation s'accommode d'une transpiration inférieure en quantité, qui représente la réponse de l'ensemble plantes-sol aux sollicitations climatiques.

Aux différentes échelles de temps (minute, heure, journée, séquence de temps, saison, année), l'ETP s'exprime dans des valeurs "instantanées", déterminées par l'ensemble des paramètres climatiques du moment, y compris l'évapotranspiration réelle. L'ETR est un processus cumulatif qui, d'une échelle de temps à l'autre, capitalise les quantités d'eau effectivement utilisées par la végétation. L'ETP est un des éléments qui déterminent le paysage végétal au niveau de la formation; l'ETR contribue à en expliquer la structure interne, et à justifier la différenciation d'associations.

L'approche quantitative de l'ETR réclame la connaissance des conditions selon lesquelles s'effectue le transfert de l'eau



## LA SAISON DE VEGETATION

du sol à la feuille. Certes, sans parler des rosées, il est parfois fait état d'une certaine quantité d'eau fixée par absorption de vapeur (1). Mais ce prélèvement, qui selon Chaptal commencerait bien longtemps avant le coucher du soleil, en aggravant le déficit de saturation de l'atmosphère, réalise les conditions d'une évapotranspiration potentielle accrue. Il ne s'agit somme toute que de l'un des termes d'une réaction réversible, sauf dans le cas d'une advection d'air humide. La véritable réserve d'eau est pour les plantes dans le sol.

L'ETR, et éventuellement la sécheresse physiologique sont donc fonction fondamentalement, d'une part de la demande climatique, d'autre part de la quantité d'eau que le système plantes-sol est en mesure de livrer, à des échelles de temps très brèves, en réponse aux sollicitations de l'ETP dans ses valeurs instantanées (2).

### *Le rôle du végétal:*

Dans les forêts caducifoliées, l'essentiel de la transpiration se situe en période de végétation et au niveau des feuilles (3), en partie à travers la cuticule, pour la plus grande quantité par les stomates, qui constituent le principal organe de régulation (4). La vitesse de réaction des stomates, selon un

---

(1) - Chaptal L., 1927; - Duvdedani Sh., 1954; - Arléry R., 1957; - Bramard A., 1957; - Bouchet R.J., 1963.

(2) - Geslin H., 1964.

(3) - il n'est pas tenu compte de la sudation, dont la valeur apparaît négligeable.

(4) - Bouchet R.J., 1961 et 1963; - Heller R., 1966 et 1970; - Birot P., 1965.

## LE CLIMAT FORESTIER

enchaînement dont la discussion ne trouve pas place ici, est très grande: de l'ordre de la minute. Elle permet donc à la plante de suivre les fluctuations climatiques de même échelle de temps. Mais il subsiste une transpiration résiduelle, car le processus cuticulaire n'est affecté qu'au voisinage du point de flétrissement.

Aussi le végétal n'est pas une " simple mèche passive " (1), permettant la montée de l'eau. Lorsque les stomates d'une feuille sont largement ouverts, celle-ci perd une quantité d'eau sensiblement égale à celle évaporée à partir d'une nappe placée dans des conditions identiques (2). La fermeture des stomates, en accroissant la résistance à la diffusion de la vapeur, intervient pour abaisser l'ETR toutes les fois que la fourniture d'eau au niveau de l'organe évaporant ne répond plus à la demande, c'est-à-dire toutes les fois que la vitesse de vaporisation excède la vitesse de transfert de l'eau liquide, malgré l'accroissement de la pression de succion.

On peut penser que l'appareil conducteur de l'arbre, -et celui des autres végétaux de la forêt-, intervient dans la limitation de la transpiration, par suite de son incapacité à dépasser un certain débit; des phénomènes de régulation stomatique ont été observés sur des plantes, croissant sur des évapotranspiromètres, dont les racines étaient donc constamment alimentées en eau de façon satisfaisante (3). De telles conditions risquent de

---

(1) - Bouchet R.J., 1961

(2) - Bouchet R.J., 1963.

(3) - de Parcevaux S., 1961; -Bouchet R.J., 1961.

## LA SAISON DE VEGETATION

se trouver réalisées par exemple dans l'aulnaie, mais aussi pour beaucoup d'autres associations, dans le cas de périodes d'inso-  
lation intense survenant alors que les réserves hydriques du  
sol sont en bon état. Il est possible que cette situation soit  
effective de manière assez fréquente en surface supérieure des  
frondaisons; mais les valeurs globales de l'évapotranspiration  
réelle ne devraient guère s'en trouver affectées, du fait de la  
consommation accrue des feuilles situées au-dessous de ce ni-  
veau, qui disposent alors d'une quantité d'énergie plus gran-  
de (1). La transpiration des strates inférieures, fondée sur des  
prélèvements opérés dans des horizons du sol peu exploités par  
les arbres tend aussi à rétablir le bilan, sous réserve d'une  
diffusion de la vapeur jusqu'à l'étage supérieur.

Dans nos régions, au niveau de l'association végétale comme  
à celui de la plante, aux échelles de durée les plus faibles  
(minute, heure), la variation de l'humidité relative de l'air,  
parce qu'elle est à l'origine de la régulation stomatique, con-  
ditionne les fluctuations de l'ETR; l'évolution de la réserve  
d'eau du sol est en effet bien plus lente dans le même moment  
que celle du déficit de saturation de l'atmosphère (1); mais  
l'écêtement de la transpiration réelle qui en résulte ne pro-  
voque cependant qu'un état de sécheresse transitoire: celui-ci  
paraît constituer, dans le cadre du Bassin Parisien méridional,  
un risque quotidien pendant les périodes les plus ensoleillées  
de la saison de végétation.

---

(1) - Bouchet R.J., 1965.

## LE CLIMAT FORESTIER

### *Le rôle du sol:*

La véritable sécheresse, le déficit hydrique prolongé qui compromet l'élaboration de la biomasse, est par contre sous la dépendance de l'humidité du sol. Le point de flétrissement permanent (1), qui marque l'épuisement, non de la totalité de l'eau contenue dans le sol mais de sa "réserve utile", est une caractéristique du sol; mais ce seuil est ou n'est pas atteint en fonction des conditions de climat.

La réserve utile dépend de plusieurs paramètres. Toutes autres conditions égales, elle est liée à l'épaisseur du sol. Et pour chaque type de végétation, elle dépend aussi en partie du volume réellement exploré par les racines. Celui-ci est naturellement très variable selon les espèces; le céphalanthère à grandes fleurs (*Cephalanthera damasianum* (Mill. Druce) de certaines hêtraies utilise à peine 1 dm<sup>3</sup> de sol, le fraisier sauvage (*Fragaria vesca* L.) environ 2 décimètres cubes (2); les arbres de futaie ont dans la région leurs racines maîtresses comprises dans un volume de 3 à 4 mètres cubes, mais l'épaisseur réellement exploitée dépasse largement les 80 cm qui sont emportés par les chaplis. Toutefois, les conditions d'approvisionnement des différentes strates tendent à être rapprochées par les mouvements de redistribution de l'eau dans le sol, dont les caracté-

---

(1) - Le flétrissement permanent est dû au sol, non à l'atmosphère; on appelle point de flétrissement permanent la quantité d'eau, inutilisable pour la végétation, que les racines ne peuvent extraire du sol, leurs possibilités d'aspiration étant inférieures aux forces de tension superficielle.

(2) - Anderson L., 1927.

## LA SAISON DE VEGETATION

ristiques physiques, texture et structure, achèvent de définir le volume et la qualité du réservoir (1).

Autant que de l'importance des prélèvements par l'évapotranspiration, l'état de la réserve est à chaque instant fonction des précipitations, de leur quantité, de leur durée, de leur opportunité en fonction de la demande. La part des pluies qui n'est pas interceptée par le houppier (2) et évaporée rapidement, et qui atteint le sol, connaît un sort variable selon les circonstances. Schématiquement, trois fractions peuvent être distinguées : l'une pénètre dans le sol, y est retenue et entretient la réserve; une autre (eau de percolation), en transit rapide, n'intervient pas dans le bilan hydrique de la biosphère; enfin le ruissellement enlève les quantités que le sol n'est pas en mesure d'accepter, en fonction de la vitesse de progression du " front d'humectation " (3) et du débit des précipitations (4). Une simple cumulation pluviométrique n'est donc pas une approche convenable des conditions d'humidité d'une région : seule doit entrer en compte la partie des précipitations effectivement "utile", soit en diminuant l'appel à la réserve du sol, soit en reconstituant cette réserve (5).

Lorsque la pluie a cessé et que les mouvements de redistribution deviennent très lents, le sol se trouve dans les meilleures conditions hydriques, c'est-à-dire, en cas de précipitations

---

(1) - Duchaufour Ph., 1965.

(2) - cf. p. 131.

(3) - Féodoroff A., 1965.

(4) - Moindrot C., 1959; - Hénin S., 1965.

(5) - cf. p. 227.

## LE CLIMAT FORESTIER

suffisantes, à sa "capacité au champ" (1). En régime de dessèchement, l'eau de la réserve circule des secteurs où l'humidité est forte vers ceux où, du fait de l'évaporation et de la consommation de la couverture végétale, elle devient plus faible. Pour les plantes, la force de succion augmente avec le "potentiel matriciel" du sol (2). Mais l'expérience montre que les végétaux commencent à souffrir de la sécheresse bien avant que la réserve utile (RU) soit sur le point d'être épuisée. Les conditions de température et d'aération étant par ailleurs favorables, il semble bien qu'entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent, l'eau du sol ne soit pas accessible dans des termes constants par la végétation (3).

Le cheminement de l'eau s'effectue en effet selon deux types d'itinéraires, qui n'ont pas la même conductibilité ; suivant les itinéraires principaux, qui définissent les grandes mailles du sol, qu'ils soient ou non occupés par des racines, le débit peut être important ; sur ces canaux débouchent les canicules, qui drainent les volumes intermédiaires, et dans lesquels la circulation est plus lente (Pl. 3, photo 5).

---

(1) - La "capacité au champ" définit la quantité d'eau que le sol, après saturation, conserve au terme d'un ressuyage de 48 heures. C'est une évaluation par excès de la capacité de rétention, puisque toute l'eau de percolation n'est pas encore éliminée. La réserve utile est naturellement encore inférieure.

(2) - Hallaire M., 1953, 1954, 1960, 1961, 1963.

Hallaire définit le "potentiel capillaire" ou "potentiel matriciel" de l'eau dans le sol comme l'"énergie nécessaire pour extraire du matériau l'unité de masse du liquide et la porter à l'état d'eau libre, à la même hauteur la même température, et sans modification de la concentration saline ni par conséquent de la pression osmotique".

(3) - Jamison V.C., 1956 ; - Rode A., 1956.

## LA SAISON DE VEGETION

La demande en eau au niveau de la feuille peut donc être satisfaite, sans que le sol joue le rôle de facteur limitant, tant que la réserve des canaux principaux y pourvoit, dans un premier temps, tant que le débit sollicité ne dépasse pas les possibilités des canicules ensuite. Quand ce seuil est atteint, les prélèvements sont ralentis.

Hallaire a introduit la notion de "potentiel efficace" du sol (1), fonction de son humidité instantanée, c'est-à-dire de son potentiel matriciel, et de la vitesse de dessèchement. Dans un sol bien pourvu en eau, par les précipitations ou par une nappe aquifère, le deuxième terme intervient peu ou pas ; sa part grandit à mesure que se produit l'épuisement des stocks. L'aspect dynamique de l'alimentation des végétaux devient essentiel. La thèse d'Hallaire conduit donc à distinguer dans la réserve utile (RU), une réserve facilement utilisable (RFU), qui seule autorise une évapotranspiration répondant aux sollicitations du climat ; lorsqu'elle est épuisée, un freinage progressif apparaît. La RFU représente, selon la texture et la structure, de 40 à 70 % de la RU ; elle varie plus que la RU avec la profondeur de l'enracinement ; elle se rapproche de la RU, dans la mesure où l'ETP est modérée, et où le système racinaire se développe.

La discussion des processus généraux qui définissent le rôle du sol dans l'évapotranspiration doit être assortie de deux observations complémentaires. Dans l'établissement du bilan hydrique de la forêt, il ne paraît pas indispensable de tenir compte d'une phase vernale, où ne jouerait que l'évaporation :

---

(1) - Hallaire M., 1960, -1963.

## LE CLIMAT FORESTIER

d'une part, le sol de la forêt n'est pas couramment dénudé, du moins entièrement ; d'autre part, cette période n'est guère susceptible de durer qu'une quinzaine de jours ; il en résulte que la transpiration prend le relais de l'évaporation avant que celle-ci ait pu sérieusement être amoindrie par dessiccation de l'horizon superficiel.

De même, dans les formations à couvert arborescent léger, les strates arbustives et herbacées, par leur densité, tendent à compenser la moindre consommation du niveau supérieur.

Par ailleurs, il est bien connu que les influences topographiques interviennent pour modifier localement le régime d'humidité du sol. Deux situations méritent d'être soulignées. D'une part, la chênaie de chêne pubescent, thermophile et xérophile dans le Sud du Bassin Parisien, qui dans la plaine berrichonne est moins liée à des sites déterminés qu'à des conditions édaphiques, est strictement limitée en Nivernais aux versants bien orientés, dont la pente forte, en favorisant le ruissellement, aggrave la sécheresse de sols sur substrat calcaire, en même temps qu'elle fait bénéficier la végétation d'un apport supplémentaire d'énergie, responsable d'une ETP plus élevée.

D'autre part, si la percolation oblique entretient, de manière classique, à la base de tous les versants, les conditions d'humidité qui justifient la présence d'espèces mésophiles ou hygrophiles, et localise au fond des vallées des aulnaies filiformes, des surfaces importantes du plateau nivernais pâtissent, autour de mardelles occupées par de micro-tourbières, d'une hydromorphie nuancée qui s'exprime dans la mosaïque des associa-



## LA SAISON DE VEGETATION

tions végétales (1); les matériaux du sidérolithique peuvent se trouver en Berry à l'origine d'une situation analogue.

Ce sont là des éléments qu'il n'est malheureusement pas possible d'intégrer dans le calcul des bilans hydriques, - lesquels restent nécessairement approchés -, mais il demeure nécessaire de les prendre en considération pour la compréhension à échelle détaillée de la végétation.

### *CONCLUSIONS:*

Sous la forêt, - et sous les autres formations végétales -, les prélèvements sur la réserve d'eau du sol sont soumis à deux facteurs limitants. La fermeture des stomates peut correspondre à l'impossibilité pour les vaisseaux des plantes d'assurer le débit sollicité par l'ETP. Dans la généralité des cas, ce phénomène n'est pas essentiel, dans la mesure où les transferts d'eau dans le sol, par leur vitesse réduite, sont incapables de répondre aux fluctuations rapides de la balance d'énergie, à partir du moment où la RFU est épuisée. Comme le remarque Vitko (2) dans les bois secs de Moldavie, c'est l'état de la réserve qui commande par priorité l'intensité de la transpiration. Mais le paramètre climatique et le paramètre édaphique sont indissociables, et c'est par l'analyse de leurs interférences constantes que la question du bilan hydrique de la forêt, - et des autres formations - , peut être approchée. C'est pourquoi, dans le cadre

---

(1) - Braque R., 1966.

(2) - Vitko K.R., 1962.

## LE CLIMAT FORESTIER

régional, la nécessité s'est imposée d'aller, au-delà de la classique évaluation de l'ETP, jusqu'à l'appréciation de l'ETR, sans ignorer les risques d'erreur que l'entreprise présente, parce que dessiner l'allure générale du phénomène constitue déjà un progrès.

En raison de la complexité du problème, on a cru bon d'estimer tout d'abord les conditions hydriques dans lesquelles se trouve la végétation herbacée, de manière à avoir un terme de comparaison. Cette première étape a d'ailleurs l'avantage de limiter le nombre des hypothèses. Sans doute n'est-il pas inutile d'établir la liste de celles qui ne peuvent être évitées:

1 - La valeur de l'albedo a été supposée égale à 25 % pendant toute la durée de la saison de végétation.

2 - Les calculs, effectués par séquences de temps, ignorent les fluctuations de la demande climatique qui interviennent à des échelles de temps plus brèves.

3 - Les transformations d'état de la couverture végétale sont négligées à toutes les échelles de temps: l'évapotranspiration maximale des prairies et des pelouses est supposée égale à l'ETP pendant toute la durée de la saison de végétation, et pendant toute la journée.

4 - Au début de la saison de végétation, le sol est considéré comme atteignant sa capacité au champ.

5 - On admet que les précipitations servent par priorité à reconstituer la réserve du sol jusqu'à sa capacité de rétention: seul l'excédent éventuel est entraîné par ruissellement

## LA SAISON DE VEGETATION

ou infiltration. Le fait n'est pas exact à une échelle ponctuelle; il le devient à peu près sur un périmètre étendu.

6 - Dans une approximation pessimiste, fondée sur les caractéristiques des sols rendziniformes du Berry, la RU a été fixée à 100 mm, la RFU seulement à 40 mm. Ce "modèle de sol" est beaucoup moins représenté à l'Est de la Loire qu'à l'Ouest; mais sans songer à nier le rôle des facteurs édaphiques dans la différenciation des paysages végétaux du Berry et du Nivernais, il a paru nécessaire de cerner d'abord la part des influences climatiques, en retenant la même base de calcul pour l'ensemble de la région; dans le cas de l'ETR de la forêt, d'autres modèles seront envisagés.

7 - Pour apprécier le freinage de l'ETR par accroissement du potentiel efficace du sol lorsque la RFU est totalement utilisée, il n'a pas semblé opportun d'employer la formule couramment retenue,  $ETR = ETP \times \frac{Rr}{Rs}$ , dans laquelle  $R_s$  est la réserve de survie (différence entre la RU et la RFU), et  $R_r$  la réserve résiduelle, c'est-à-dire la fraction de  $R_s$  effectivement disponible.

Une telle expression est à la rigueur acceptable dans le cas de calculs effectués sur des périodes de durée constante, décade par exemple; pour les réaliser sur des séquences de temps de longueur inégale, et parce qu'elle s'accorde mieux avec la variation du potentiel efficace, on lui a préféré l'équation suivante:

$$R_n = R_0 \left(1 - \frac{e}{R_s}\right)^n$$

dans laquelle  $R_0$  est le reliquat de la réserve de survie au dé-

# LE CLIMAT FORESTIER

but du premier jour ( de la première unité de durée ) de la séquence de temps , -ou de la fraction de séquence coïncidant avec l'épuisement de la RU (1)-, n le nombre de jours pendant lequel la consommation est freinée, Rs la réserve de survie (caractéristique du sol), Rn la réserve résiduelle à la fin du nème jour, e l'évapotranspiration potentielle quotidienne; la valeur de e, calculée en fonction des données climatiques, est supposée égale pour tous les jours ( toutes les unités de durée ) de la séquence de temps, cette approximation n'entraînant pas d'erreur grave.

La formule reste fondée sur un postulat de proportionnalité entre le freinage de l'évapotranspiration et la vitesse de dessèchement du sol. R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>,...R<sub>n</sub> désignant les valeurs successives de la réserve de survie à la fin des jours 1,2,3,... n, un raisonnement simple permet de montrer que, la consommation du premier jour étant  $e \times \frac{R_0}{R_s}$ , la réserve de survie à la fin de ce jour est:

$$R_1 = R_0 - (e \times \frac{R_0}{R_s}) = R_0 - R_0 \frac{e}{R_s} \quad (1)$$

$$R_1 = R_0 (1 - \frac{e}{R_s}) \quad (2)$$

De même, à la fin du 2ème jour:

$$R_2 = R_1 (1 - \frac{e}{R_s}) \quad (3)$$

ou, en remplaçant R<sub>1</sub> par sa valeur dans (2):

$$R_2 = R_0 (1 - \frac{e}{R_s}) (1 - \frac{e}{R_s}) = R_0 (1 - \frac{e}{R_s})^2 \quad (4)$$

et ainsi de suite.

Que l'expression  $R_n = R_0 (1 - \frac{e}{R_s})^n$  soit valable pour une période de n jours suppose qu'elle soit vérifiée pour n + 1 jours; or:

$$R_{n+1} = R_n (1 - \frac{e}{R_s}) = R_0 (1 - \frac{e}{R_s})^n (1 - \frac{e}{R_s}) = R_n (1 - \frac{e}{R_s})^{n+1} \quad (5)$$

L'expression peut être établie quelle que soit l'unité de durée retenue, et convient aussi bien pour un nombre fractionnel que pour un nombre entier de jours.

---

(1) - dans ce cas, R<sub>0</sub> = R<sub>s</sub>.

## LA SAISON DE VEGETATION

Pour chaque séquence de temps, le niveau de Ro est réajusté en fonction du volume des précipitations s'ajoutant à l'héritage de la période précédente.

8 - Le sol est considéré comme "fini", c'est-à-dire privé de tout apport d'eau par accroissement de la longueur des racines, ou par migrations en provenance des couches profondes ou d'une nappe.

L'approche du bilan hydrique des forêts intervient dans un deuxième temps sur les bases suivantes:

1 - La période sur laquelle les calculs sont réalisés est plus courte que celle qui a été retenue pour les formations herbacées, afin de tenir compte du retard de la feuillaison des arbres sur la pousse de l'herbe (1).

2 - Faute de mieux, le pouvoir évaporant est évalué comme pour la prairie.

3 - Le calcul de base en ce qui concerne le premier terme de la balance d'énergie est fondé sur un albedo constant, fixé à 15 %.

Toutefois, malgré l'incertitude qui leur est attachée, ont également été réalisées les estimations de l'ETP, en fonction d'un albedo modulé d'après la saison et le type de temps, et celles faisant intervenir, en début et en fin de phénophase feuillée, une quantité d'énergie associant le rayonnement transmis au sol

---

(1) - Le choix du 15 avril comme point de départ de la végétation est discutable: peut-être eut-il mieux valu prendre le 20 avril ou le 1er mai. Il en résulte un risque de surestimation de l'ETP et de l'ETR, dans la phase initiale, de l'ordre de 25 à 50 mm.

## LE CLIMAT FORESTIER

et une fraction du rayonnement pénétrant dans les couronnes, variable avec le degré de feuillaison ou de défeuillaison (1).

4 - Pour apprécier l'influence du sol, il a paru indispensable de recourir à plusieurs modèles, susceptibles de reproduire approximativement les conditions réalisées dans les différents types de forêts de la région. Dans les situations les plus médiocres du point de vue hydrique, celles des rendzines forestières, la RU a été, comme pour les sols homologues des pelouses et des friches, fixée à 100 mm; mais la RFU a été portée à 50 mm (au lieu de 40), le volume de sol étant exploré par les racines de façon plus complète. A l'opposé, une RU de 250 mm et une RFU de 140 mm ont été retenues comme caractéristiques les plus favorables, pour les sols épais établis sur l'argile à silex et sur l'éluvium. Enfin, ont été analysées deux situations intermédiaires: RFU = 60 mm pour RU = 100 mm, - RFU = 110 mm pour RU = 250 mm. La confrontation des modèles (2) devrait permettre de se faire une idée d'ensemble des principaux types de bilans hydriques forestiers régionaux.

Les discussions méthodologiques n'ont cherché ni à dissimuler ni à minimiser les critiques qui peuvent être formulées, tant en ce qui concerne les valeurs calculées de l'évapotrans-

---

(1) - par abréviation, cette quantité d'énergie est désignée par l'expression "rayonnement transmis variable".

(2) - dans la première phase de ce travail, les calculs, pour l'ETP et l'ETR, ont été réalisés "manuellement"; dans la seconde phase, il a été possible de varier les hypothèses, grâce à l'utilisation pour la détermination de l'ETR, de l'ordinateur du Centre inter-régional de Calcul électronique (C.I.R.C.E.) à Orsay, selon un programme que Monsieur M. Roux a bien voulu mettre au point.

## LA SAISON DE VEGETATION

piration potentielle qu' à l'égard des évaluations de l'évapotranspiration réelle. On prendra soin de ne pas les oublier dans le commentaire des résultats, même quand ceux-ci, par commodité d'expression, sont présentés sous une forme sans doute trop affirmative.

Les calculs (1), en apportant un ordre de grandeur de l'ETR, contribuent pour autant à éclairer la question du ravitaillement en eau des forêts du Berry et du Nivernais; les conclusions qu'ils permettent de dégager sont en bon accord avec les réalités du paysage végétal.

## II - Etat de la Question:

### 1 - ELEMENTS DE REFERENCE:

Les données de la pluviométrie suggéraient le risque d'une sécheresse plus grande au-dessus du Berry qu' au-dessus du Nivernais. Les valeurs normales de l'évapotranspiration potentielle en confirment la menace.

Malgré son caractère schématique, la carte de l'ETP, établie selon la méthode de Thornthwaite pour l' " esquisse d'une description agronomique de la France " (2), montre la diminution progressive dans le sens des longitudes, de la Champagne berri-

---

(1) - De très nombreux tableaux n'ont pu être reproduits dans le volume réservé aux illustrations et justifications. Ils figurent dans le volume " annexes ", déposé à la Bibliothèque de l'Université de Clermont-Ferrand II.

(2) - Arléry R., Garnier H., Langlois R., 1954.

## LE CLIMAT FORESTIER

chonne au Morvan, de la demande en eau de la couverture végétale, située aux alentours de 675 mm à Châteauroux et Bourges, entre 650 et 675 mm sur le plateau nivernais, entre 600 et 650 mm sur le Morvan. L'isoline de 675 mm est axée grossièrement sur le cours de la Loire, mais elle dessine une large avancée sur la Sologne bourbonnaise, tandis que le Sancerrois a un régime analogue à celui des collines du Nivernais.

L'observation des cartes de valeurs mensuelles, de mars à octobre, souligne à la fois la quasi-permanence de la décroissance des besoins en eau d'ouest en est et le caractère modéré du gradient d'ETP. Elle fait penser en outre que souvent le Nivernais ne se différencie guère du Morvan.

Dans cette analyse, la partie de la région située à l'est de la Loire bénéficie d'un climat humide à déficience saisonnière peu marquée, tandis qu'à l'ouest du fleuve apparaît un déficit estival modéré. L'enquête monographique apporte des retouches importantes à cette présentation.

L'étude réalisée pour le compte du Ministère de l'Agriculture (1) afin d'évaluer les quantités d'eau nécessaires à l'irrigation, est basée sur l'emploi de la formule de Turc. Les auteurs, qui prennent en considération différentes valeurs de réserves hydriques du sol, pensent qu'au coeur de l'été (juillet-août), l'épuisement des stocks tend à être réalisé partout, quel qu'en ait été au départ le volume.

Pour les plantes dont le cycle végétatif se déroule d'avril-mai à septembre-octobre, ce qui est le cas des végétaux de

---

(1) - Ministère de l'Agriculture, 1964-1965.



## LA SAISON DE VEGETATION

la forêt et des pelouses, l'évapotranspiration serait réduite dans la région, une année sur deux de 100 mm par rapport au *maximum* possible, une année sur cinq de 200 mm ou davantage (220 à 240 en Bourbonnais, 240 à 280 en Nivernais et dans le "Berry coupé", 300 à 320 en Champagne berrichonne). Tout comme les besoins annuels, les exigences mensuelles de pointe sont décroissantes d'ouest en est. La fréquence des années sèches diminue dans le même sens.

Les traits généraux étant dès lors esquissés, l'objectif de l'enquête monographique, en reconstituant dans la mesure du possible les situations concrètes, en mettant l'accent sur la marche de l'évapotranspiration réelle, est d'arriver à une appréciation qualitative de la couverture des besoins en eau qui associe étroitement les données climatiques et les données édaphiques.

### 2 - LES ENSEIGNEMENTS DE L'ENQUETE MONOGRAPHIQUE:

#### a) Caractères généraux des années 1963 et 1964:

Les deux années 1963 et 1964, sur lesquelles a porté l'enquête monographique sont très dissemblables (Fig. 90 et 91, p. 119), bien qu'il faille se garder d'une opposition trop simplificatrice.

La période de végétation de 1963 peut être qualifiée de "saison pourrie". L'observateur de Châteauroux note que les températures ont été déficitaires (1); comme en écho, le responsable

---

(1) - Carlier, 1964.

## LE CLIMAT FORESTIER

de Nevers M.N. (1) déclare sans ambages que ce fut une année froide. La période d'avril à octobre a été très arrosée. Et si les mesures d'insolation ne sont à l'époque commencées que depuis une dizaine d'années, le délai est cependant suffisant pour que l'ensoleillement de 1963 paraisse très mauvais. Au contraire, 1964 laisse le souvenir de précipitations médiocres et de vagues de chaleur intense (27,1° sous abri le 7 mai à Nevers, 30,8 le 12 juin, 37,4 le 17 juillet, 33,8 le 6 août, 33,2 le 14 septembre). La moyenne des *maxima* dépasse la normale de 1,4° en mai, de 0,9° en juin, 2,8 en juillet, 0,7 en août, encore 2,1 en septembre.

Mais la réalité climatique est insuffisamment exprimée dans cette antithèse sommaire. Les deux printemps ne sont pas si différents; avril 1963 est maussade, avec des passages répétés de perturbations. En 1964, temps cyclonique et beau temps alternent, mais pour les trois stations de référence, la quantité des précipitations est au moins égale au total mensuel de l'année précédente (Fig. 93 et 94, p. 120). En mai, la capitalisation des durées d'insolation, comme celle des quantités de pluie, accusent les contrastes qui n'apparaissent pas aussi brutalement au fil des jours; en 1963, durant les trois premières semaines de ce mois, se succèdent des perturbations qui, sans être très actives, réduisent l'ensoleillement et entraînent un régime thermique heurté; en 1964, entre le régime perturbé du début du mois et la situation orageuse de la fin, la quinzaine intermédiaire de temps anticyclonique est syncopée de passages nuageux. D'une année sur

---

(1) - Niel G., 1964.

## LA SAISON DE VEGETATION

l'autre cependant, l'insolation enregistre une augmentation globale de 15 à 20 %: mai 1963 est "normal", mai 1964 est au seuil  $\bar{M} + \sigma$  (Fig. 99 et 100, p. 122). Pour les précipitations une réduction grossièrement dans le rapport de 2 à 1 paraît assez générale.

C'est au coeur de l'été que se situent les oppositions les plus nettes. Juin 1963 dans son entier est pluvieux. Jusqu'à la mi-juillet, en situation de marais barométrique, les précipitations sont locales, d'où les écarts enregistrés entre stations voisines du réseau secondaire: 41 mm à Anlezy et Billy-chevannes (distance 7 km), 25 mm à Vandenesse (à 25 km d'Anlezy), 7 mm à Biches (à 12 km d'Anlezy), 28 mm à Cuffy et 5 mm à Neuvy-le Barrois (distance 11 km). Ensuite le Bassin Parisien méridional connaît deux périodes de beau temps, séparées par l'évolution d'un système orageux. Le mois d'août, un des plus mauvais depuis un siècle, est un désastre. Au dire de l'auteur du Bulletin climatologique du Berry, depuis 1879, il n'a fait plus froid qu'en 1912; depuis 1869, il n'y a eu de précipitations plus importantes qu'en 1912, 1936 et 1952. Et pourtant, il pleut moins à Châteauroux (114 mm) qu'à Bourges (130 mm) et à Nevers (143 mm).

Sans réaliser la plénitude du beau temps, juin 1964 bénéficie d'une forte insolation. La pluviométrie est vigoureusement déficitaire sur le Berry de Bourges. Le mois débute dans un régime de flux assez actif; toutefois le soleil brille dans les advections froides postérieures répétées. Une première et éphémère période sèche n'est pas exempte de nuages, en raison du passage d'un front frontolysé. La seconde séquence de temps an-

## LE CLIMAT FORESTIER

ticyclonique, de vrai beau temps, est encadrée par deux situations de caractère orageux. Ce schéma, classique, va se répéter à quatre reprises en juillet et début août (jusqu'au 6). Alors prévaut pendant une quinzaine un type de temps orageux. Mais la dernière décade d'août et septembre connaissent encore de belles périodes.

La fin de saison est par contre plus maussade en 1964 que l'année précédente. En 1963, s'établit à partir du 8 octobre un régime anticyclonique plus ou moins accusé qui va persister jusqu'à novembre. En 1964, les passages orageux de fin septembre et début octobre se prolongent dans une période troublée où l'arrivée répétée de masses d'air maritime instable provoque une succession de corps pluvieux, de ciels de traîne et d'éclaircies. A partir du 19 se rétablit l'alternance de séquences de beau et de mauvais temps. La période de végétation, qui couramment se termine de façon floue dans le courant de novembre est interrompue brutalement par un coup de froid (6 au 10 novembre).

Ce résumé des conditions météorologiques qui ont régné en 1963 et 1964 dans le Sud du Bassin Parisien souligne que le contraste entre les deux années porte sur la pleine phénophase feuillée. Il reste à dégager les conditions qui d'un point de vue biologique sont capitales: quantités d'énergie disponibles et modalités d'entretien de la réserve d'eau du sol, les unes et les autres déterminant conjointement l'importance de la transpiration.

Dans cette perspective, le diptyque "1963 année humide, 1964

## LA SAISON DE VEGETATION

année sèche" demande commentaire (Fig. 93 et 94 et Tableau 39, p. 123). Sur les chiffres de la période avril-octobre, 1963 se situe à Châteauroux et à Nevers parmi les années pluvieuses, mais ce n'est pas une des plus arrosées. A Bourges, la pluviométrie mérite d'être qualifiée de "normale". Elle est même légèrement inférieure à la moyenne établie sur la série 1952-1973. Quant à 1964 c'est une année déficitaire, mais non de manière catastrophique.

Statistiquement, c'est par rapport aux trois mois de juin, juillet, août, que le contraste des deux années apparaît sans ambiguïté. Les données pluviométriques les plus défavorables interviennent en 1964 au moment précis où les conditions astronomiques supposent la demande en eau la plus élevée.

Pour Prémercy - le Chasnay et Raveau - l'Usage défendu, où les observations ont été limitées à quelques années, la référence à la moyenne est impraticable. Mais la comparaison avec Nevers (Tableau 40, p. 123 et Fig. 101-102, p. 124-125), montre la large concomitance des variations des pluies dans le temps. Toutefois, les aléas de la distribution dans l'espace font qu'aucune des stations ne paraît systématiquement favorisée ou défavorisée. Sur l'ensemble de la phénophase feuillée, les postes du plateau reçoivent davantage de pluie en 1963; mais en 1964, les quantités d'eau recueillies sont identiques à Nevers et à Raveau; durant le plein été, les précipitations sont moindres sur le plateau.

En ce qui concerne les durées d'insolation et le rayonnement global incident, la situation est en 1964 exceptionnellement favorable (Fig. 100 et Tableau 41, p. 126). De mai à octobre, les valeurs moyennes sont égales ou supérieures à  $\bar{M} + \sigma$ . 1963 est

## LE CLIMAT FORESTIER

par contre déficitaire dans l'ensemble . Mais pour les forêts, le faible ensoleillement du mois d'août est bien plus lourd de conséquences que celui d'avril . En revanche, dans cette année maussade, le mois de juillet, en dépit de l'impression mitigée qu'il a pu laisser, a bénéficié de valeurs de rayonnement qui le cèdent de peu à celles de l'année suivante.

L'ensemble des constatations effectuées conduit donc à aborder le bilan de l'eau des différentes formations végétales sans complaisance à l'égard d'une schématisation, tentante mais discutable, dans l'espace ou dans le temps.

### *b) Evapotranspiration potentielle*

#### *et évapotranspiration réelle:*

#### *le cas des formations herbacées:*

Les conditions offertes aux formations herbacées, prairies, pelouses, friches, ont seulement été étudiées en fonction des données fournies par les trois stations M.N. de Nevers, Bourges et Châteauroux. Les résultats de l'enquête sont exprimés dans un ensemble de tableaux (\*), et dans une double série de figures, mettant l'accent la première sur les aspects instantanés à l'échelle de la séquence de temps, la seconde sur les aspects cumulatifs des besoins en eau.

---

(\*) - cf. note 1, p. 245.

## LA SAISON DE VEGETATION

### *L'évapotranspiration potentielle:*

Dans l'hypothèse d'une couverture des besoins en eau constamment assurée, les valeurs calculées de l'évapotranspiration potentielle, pour une formation dont l'albedo, constant, est fixé à 25 %, s'établissent en 1963, sur une saison de végétation étendue au *maximum* du 21 mars au 26 novembre, aux niveaux de 603 mm à Châteauroux, 609 mm à Bourges, 545 mm à Nevers (Tableaux 43 à 45, p. 128-133).

Ces chiffres sont inférieurs aux normales données par les diverses méthodes d'évaluation, et notamment à celles obtenues par utilisation de la formule de Penman, qui situent la région dans la gamme de 700 à 750 mm (1).

Compte tenu de l'approximation inhérente au mode de calcul, il est permis d'accepter l'idée de l'homogénéité des conditions au-dessus du Berry, cependant qu'en Nivernais la demande *maxima* de la végétation est d'environ 10 % plus faible.

En 1964, l'estimation, sur une période légèrement plus courte (22 mars au 18 novembre) donne des résultats plus divers: 690 mm à Châteauroux, 747 à Bourges, 618 à Nevers (Tableaux 46-48\*, p. 134-139). Ces valeurs expriment, par rapport à l'année précédente, des besoins en eau accrus de 15 % à Châteauroux et à Nevers, de un cinquième à un quart à Bourges. Il y a conjonction de l'augmentation de la demande et de la réduction de l'abondance des précipitations

---

(1) - Brochet P. et Gerbier N., 1970.

(\*) - les abréviations utilisées dans les tableaux exprimant les différentes options du bilan de l'eau sont définies dans le tableau 42, p. 127.

## LE CLIMAT FORESTIER

Les courbes de cumulation de l'évapotranspiration potentielle (Fig. 103-104, p. 140), -elles représentent aussi la capitalisation du budget d'énergie quotidiennement disponible-, assimilables à des portions de sinusoïdes, marquent naturellement la dépendance du phénomène à l'égard du rythme astronomique du rayonnement global. Les irrégularités des tracés, et les divergences angulaires qui les séparent n'en sont que plus significatives.

Les multiples changements de pente expriment, de manière atténuée par l'échelle, les variations de l'ETP, qui se manifestent beaucoup plus vigoureusement dans les graphiques par séquences de temps (Fig. 104 à 110, p. 141-143), en fonction des conditions météorologiques. Certaines, comme la grande poussée de la demande en eau de fin juillet 1963 et le ralentissement de fin août, se lisent cependant de façon très claire. Le synchronisme des accidents d'une courbe à l'autre témoigne de l'unité aérologique de la région.

En dépit de celle-ci, les courbes de cumulation ne sont pas confondues. En 1963, dès la mi-avril, une divergence se produit entre celle de Nevers d'une part et celles des stations berri-chonnes, peu différentes, d'autre part. En 1964, les trois courbes se séparent presque dès l'origine. La hiérarchie qui s'exprime ainsi dans l'importance de la demande en eau n'est pas imputable au premier terme de l'équation de Penman, Nevers ne présentant pas d'infériorité par rapport au Berry en ce qui concerne le rayonnement global incident, bien au contraire. C'est donc au second terme, c'est-à-dire aux éléments qui sont susceptibles



## LA SAISON DE VEGETATION

d'affecter la vitesse du vent et le déficit de saturation de l'air qu'en incombe la responsabilité. C'est dire toute l'importance, pour la compréhension des conditions climatiques dans la région, de l'organisation du relief, de la répartition des sols, celle aussi du dispositif réalisé par la couverture végétale, dans son état actuel: les massifs forestiers, parce qu'ils transpirent davantage que les prairies et les champs, deviennent un facteur régional de limitation de la demande.

### *L'évapotranspiration réelle:*

Dans les conditions de sol retenues (réserve utile = 100 mm, réserve facilement utilisable = 40 mm), les évapotranspirations réelles de Nevers et Châteauroux sont en 1963 au niveau de 530-540 mm, ce qui représente pratiquement l'évapotranspiration potentielle à Nevers et les 9/10 de celle-ci à Châteauroux. A Bourges, avec 500 mm, l'ETR n'atteint que 80 % de l'ETP (Tableau récapitulatif 67, p. 181). S'il est vrai que pour le Berry de l'est, 1963 est simplement "normale" du point de vue des précipitations, à Châteauroux comme à Nevers, l'année, par sa pluviométrie et sa pluviosité est apparue franchement humide. Or il s'avère que dans ces conditions mêmes, la partie de la Champagne qui a reçu les plus grandes quantités de pluie n'a pas offert à la végétation herbacée une couverture correcte de ses besoins en eau. La dissymétrie de la répartition de part et d'autre de la Loire est affirmée.

Jusqu'à la mi-juillet, les volumes évaporés ou transpirés sont identiques sur l'ensemble de la région et représentent une

## LE CLIMAT FORESTIER

tranche de 300 mm : 296,7 à Châteauroux, 298,5 à Bourges, 299,6 à Nevers (Tableaux 43 à 45 et Fig. 103); il n'y a pas de sécheresse en Nivernais; et en Berry, le déficit cumulé demeure très modéré (10 % à Bourges, 3 à 4 % à Châteauroux).

Dans la seconde quinzaine de juillet, les courbes cumulatives de l'ETR, jusqu'alors confondues ou parallèles, se séparent. Cette divergence correspond dans le temps à la période d'ensoleillement favorable qui coupe l'été maussade, mais l'augmentation des quantités d'énergie ne justifie que l'importance de l'ETP, non les inégalités de l'ETR.

Durant cet épisode, le premier terme de l'équation de Penman, directement fonction de la radiation solaire, situerait les besoins d'une manière très uniforme sur toute la région: 57 mm à Châteauroux, 59 à Bourges, 60 à Nevers. L'incidence du deuxième terme porte la transpiration maximale théorique à 86 mm pour les stations berrichonnes, à 76 pour Nevers, ces données définissant quantitativement le rôle différentiel du pouvoir évaporant de l'air, dont l'ETR est un facteur.

La consommation effective d'eau par la végétation peut être fixée à 60 mm environ à Nevers et à Châteauroux, à 35 mm à Bourges; les disparités sont grandes, aussi bien dans les déficits absolus, -moins de 15 mm à Nevers, 25 à Châteauroux, 50 à Bourges-, que dans l'importance relative de l'écrêtement: 1/5 à Nevers, 30% à Châteauroux, 3/5 à Bourges.

Si donc la corrélation entre l'installation de la sécheresse et l'ensoleillement favorable n'est pas discutable, elle n'explique pas les différences dans l'intensité des restrictions

## LA SAISON DE VEGETATION

auxquelles sont soumises au sein de la dition des formations herbacées de structure comparable. Celles-ci ne se comprennent que dans la dynamique de l'ETR, qui conditionne les variations de la demande, et dont la dépendance à l'égard de l'évolution du stock d'eau du sol est établie.

Au printemps 1963, la réserve est complète partout ; la porosité des sols ne suffit pas à absorber la totalité des précipitations, et le drainage, -ruissellement et infiltration-, entraîne jusqu' au 13 avril un excédent de 16 mm à Bourges, 38 à Châteauroux, 42 à Nevers. A partir de cette date, bien que les ETP soient peu différentes, des précipitations inégales provoquent des évolutions discordantes de la réserve sur l'étendue de la région (Fig. 103).

A Nevers, jusqu'en juillet, elle ne s'abaisse jamais en-dessous du seuil de 60 mm, à partir duquel l'accroissement du potentiel efficace freine la collecte de l'eau. Le sol retrouve sa capacité au champ à deux reprises, une première fois fin mai (drainage = 0,9 mm), une seconde fin juin (drainage = 6,7 mm). L'intense demande climatique de juillet survient donc dans un contexte d'humidité édaphique très favorable, ce qui justifie le caractère fort modéré des restrictions dont pâtit la végétation (Fig. 105). L'abondance et la répétition des précipitations en août replacent la réserve à son *maximum* (il y a, de nouveau, drainage = 7,1 mm). Aucun freinage de l'évapotranspiration n'apparaît plus dans l'arrière-saison.

L'évolution de l'humidité du sol suit le même mouvement général en Berry qu'en Nivernais ; entre Bourges et Châteauroux, le

## LE CLIMAT FORESTIER

parallélisme est rigoureux (Fig. 103). Dans les deux stations, la réserve facilement utilisable est épuisée à la mi-mai par une transpiration dont les valeurs quotidiennes se placent au niveau de 2,5 à 3 mm (Fig. 107 et 109). Toutefois, dans un premier temps, la disette, qui demeure limitée, s'installe de façon plus durable à Châteauroux qu'à Bourges, où les pluies de fin mai sont plus importantes. La situation s'inverse en juillet: au cours de la deuxième quinzaine, l'augmentation de la demande s'exerce à Bourges sur une réserve qui depuis début juin est toujours restée au-dessous du seuil de freinage; à Châteauroux par contre, les pluies du 22 au 25 juillet (six fois plus abondantes qu'à Bourges) ont beaucoup amélioré la situation. Le mois d'août pourri replace la végétation herbacée du Berry dans des conditions qui permettent à l'ETR de s'identifier à l'ETP. Mais la pénurie revient pour un bon mois sur le Berry occidental, pour toute la fin de saison sur l'est de la Champagne. Ce sont les précipitations de fin-octobre, début-novembre qui remettent partout la réserve à saturation; du 7 au 26 novembre, le drainage entraîne à Châteauroux un excédent de 90 mm, cinq fois plus qu'à Bourges, mais aussi une fois et demie plus qu'à Nevers.

Au total, d'après les données de Bourges M.N., on peut estimer à 130 jours, répartis entre deux longues périodes, de début juin à début août, et de fin août à fin octobre, soit trois jours sur quatre, le temps pendant lequel la régulation stomatique est intervenue de façon prolongée. Ce chiffre serait notablement accru si le phénomène pouvait être suivi à une échelle de durée plus fine, pour prendre en compte les ruptures dans la fourniture

## LA SAISON DE VEGETATION

re d'eau aux heures les plus chaudes de la journée . A Châteauroux, la proportion est analogue, mais la sécheresse se décompose en trois mouvements (Fig. 107) . A Nevers, la transpiration n'est réduite que pendant moins de trois semaines.

Ainsi, pour les pelouses et les friches, dans le contexte édaphique défavorable retenu pour l'analyse, la saison de végétation 1963 peut vraiment être considérée en Nivernais comme une année biologiquement humide. En Berry, malgré la somme des pluies estivales (surtout à Châteauroux), 1963 est une année sèche.

Mais cet exemple possède une signification qui dépasse le cadre régional: il montre que dans des circonstances climatiques autorisant la demande la plus limitée pour l'offre la plus élevée, donc réduisant au *minimum* le risque de manque d'eau, la référence simultanée à l'évapotranspiration potentielle et à la pluviométrie ne suffit pas à définir les conditions d'humidité. Celles-ci ne sont approchées qu'au prix d'une connaissance aussi précise que possible des fluctuations de la réserve du sol, dont l'action, inégalement efficace de " tamponnement " détermine les modalités réelles d'approvisionnement de la végétation . A petite échelle, l'ETP est un fondement indispensable de la classification biologique des climats. Dans un cadre régional de médiocre étendue, elle ne rend pas compte des nuances que la couverture végétale enregistre, non seulement dans ses aspects saisonniers, mais surtout par l'effet de processus cumulatifs, dans la composition et la structure des groupements herbacés. La prise en considération de l'évapotranspiration réelle paraît au contraire capable d'éclairer les détails de la mosaïque végétale.

## 1.4 CLIMAT FORESTIER

Pour la juste interprétation des résultats, il serait grave d'oublier que 1963 ne mérite pas partout également le qualificatif d'année pluvieuse. Mais l'ouest du Berry, qui comme Nevers a bénéficié de précipitations copieuses, n'en supporte pas moins une sécheresse réelle et durable. L'évolution du déficit de transpiration comme celle de la réserve du sol confirment le contraste entre les deux parties de la région, de part et d'autre de la Loire. Il est vrai que la cumulation annuelle de l'ETR donne des valeurs si proches (Tableau 67, p. 181) qu'elles ne peuvent fournir argument; mais la répartition dans le temps de la consommation montre que le Nivernais, désavantagé au printemps et à l'automne, présente par contre le bilan de loin le plus satisfaisant pendant l'été. Au plan des causes, dans l'unité aérologique du périmètre de l'étude, les effets d'abri liés au compartimentage du relief, la diminution du déficit de saturation de l'air par la transpiration des forêts, sont ainsi élevés au rang de facteurs essentiels de différenciation au sein du climat régional.

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle ont été calculées dans l'hypothèse de sols identiques. Or si les rendzines occupent d'amples cantons de la Champagne berrichonne, les prairies sont couramment installées en Nivernais et en Bazois sur des sols dont les caractéristiques hydriques sont bien meilleures. C'est dire que le risque de sécheresse, dans le contexte météorologique de 1963, apparaît comme très localisé en Nivernais, -il doit frapper systématiquement les talus orientés au sud-, comme pesant sur de vastes étendues en Berry.

## LA SAISON DE VEGETATION

En 1964, l'évapotranspiration potentielle est beaucoup plus élevée que l'année précédente. La divergence cardinale entre les courbes de cumulation de l'ETP et celles de l'ETR se produit pour les trois stations fin mai ou début juin. A Nevers, l'articulation entre la phase de bonne alimentation en eau des formations herbacées et l'époque des restrictions se situe dans la séquence de beau temps anticyclonique du 8 au 11 juin, correspondant à la continentalisation d'une masse d'air polaire maritime. En quatre jours, la demande climatique est amputée de près de 6 mm et le déficit cumulé est pratiquement doublé (Tableau 48 et Fig. 104). Jusqu'au 8 juin, précipitations et réserve du sol avaient répondu à la demande à 96 % ( $ETP = 191,8 \text{ mm}$ ,  $-ETR = 184,6$ ). Au 8 août, l'ETR capitalisée (290,2 mm) ne représente plus que 65 % de l'ETP cumulée (446 mm). Un rationnement moins sévère intervient encore jusqu'au 14 septembre. A cette date, le rapport  $ETR/ETP$  ( $355,3/552,9 = 64\%$ ) est à peu près inchangé. Sur l'arrière-saison, il n'y a plus freinage de la consommation. Dans l'ensemble, pour toute la période de végétation, la demande climatique est assurée à 68 %.

La sécheresse en Berry est beaucoup plus critique : pour une ETP de 746,6 mm, l'ETR à Bourges a été seulement de 374,6 mm, soit 50 % (Tableau 47 et Fig. 104) ; et à Châteauroux, le rapport  $ETR/ETP$  est encore plus mauvais, inférieur à 45 % (Tableau 46). Au 8 juin, la couverture des besoins était déjà moins satisfaisante qu'en Nivernais : 89 % à Châteauroux ( $186,3/208,6$ ), 79 % à Bourges ( $190,2/241,5$ ). La limitation de l'évapotranspiration est plus intense et dure plus longtemps : au 8 août, la réponse à la deman-



## LE CLIMAT FORESTIER

de est de 51 % à Châteauroux (248,3/484), et 45 % à Bourges (241,5/537,8), au 14 septembre de 45 % à Châteauroux (273,6/610,2), 44 % à Bourges (293/665). La sécheresse ne prend fin en Champagne orientale qu'au début d'octobre, et elle se prolonge sur l'ouest jusqu'à la fin de la saison de végétation.

L'analyse séquentielle précise cette première approche des conditions d'humidité biologique. Sur l'ensemble de la région, la situation a été bonne durant le printemps. La réserve du sol est intacte à la fin d'avril; pour le Berry, la situation est plus favorable qu'à pareille époque en 1963 (Fig. 108 et 110). A partir de mai, les conditions se dégradent partout, mais avec des modalités différentes. C'est à Bourges que la pénurie apparaît en premier; jusqu'en juillet, la demande est plus élevée qu'à Châteauroux, et le déficit prend vite des valeurs instantanées importantes: 1,6 mm par jour pour une demande de 5,5 mm du 9 au 12 mai, presque 2 mm pour une ETP de 3,7 du 18 au 22 mai. Les pluies de fin mai ne permettent pas la reconstitution de la réserve du sol, qui reste très en dessous du seuil réserve facilement utilisable - réserve de survie; elles déterminent seulement une brève atténuation de la sécheresse. Au delà-du 8 juin, c'est une aridité cruelle qui s'installe et s'aggrave sans cesse jusqu'à début août, où dans les conditions d'évolution de l'humidité résiduelle admises pour l'analyse, toute l'eau est pratiquement épuisée. Entre le 13 juillet et le 8 août, le déficit moyen quotidien atteint 4,6 mm pour une ETP de 5,1! Après une courte amélioration associée aux précipitations des 9-10 août, une récurrence de disette un peu moins aiguë se poursuit sur la fin du mois. Ce



## LA SAISON DE VEGETATION

sont les pluies de la mi-septembre qui redonnent enfin à la végétation des conditions correctes d'alimentation hydrique.

A Châteauroux, la sécheresse, la plus longue de la région, s'installe avec une dizaine de jours de retard sur Bourges; et grâce à une ETP plus faible jusqu'à fin juillet l'aggravation est plus lente, plus progressive; mais l'aridité totale dure davantage (de fin juillet au 15 août); et les pluies de septembre et du début d'octobre diminuent mais ne suppriment pas le déficit.

A Nevers, il faut attendre la mi-juin pour que les plantes commencent à souffrir d'une pénurie provisoire; le ravitaillement en eau est sérieusement compromis de fin juin à début août (Fig. 106); au pire moment (13 juillet - 8 août), le déficit moyen quotidien atteint 3,25 mm pour une ETP de 4,35. Les difficultés d'arrière-saison sont bien loin d'atteindre la même gravité qu'en Berry, et si le freinage de la transpiration persiste un peu plus longtemps qu'à Bourges, il est vers la fin très modéré.

Sur la phénophase d'activité dans sa globalité, c'est encore une fois le Berry de Bourges qui est la région la plus sèche, car pour la végétation naturelle, le déficit de septembre-octobre sur la Champagne occidentale ne semble pas très grave, à un moment où l'ETP est largement déclinante. Dans une optique agromomique, par rapport aux besoins des céréales d'automne, le raisonnement devrait naturellement être reconsidéré.

Trois longs mois de sécheresse à Bourges, à peu près autant à Châteauroux, un mois et demi à deux mois d'une pénurie moins redoutable à Nevers, ainsi se résume la différence entre Berry

## LE CLIMAT FORESTIER

et Nivernais. En 1964 comme en 1963, l'économie de l'eau apparaît constamment plus favorable à l'est de la Loire. Dans cette situation interfèrent les inégalités de la pluviométrie estivale et les différences d'intensité de l'évapotranspiration potentielle.

Parce que la marche de la consommation est sous la dépendance des caractéristiques hydriques du sol, il a semblé nécessaire de tester les conditions qui sont celles des formations herbacées dans l'hypothèse d'un rapport réserve utile - réserve facilement utilisable différent. Le calcul a été fait pour un modèle dont la porosité est telle que, pour une RU demeurant égale à 100 mm, la réserve de survie soit seulement de 40 mm. Le freinage de la transpiration par accroissement du potentiel efficace du sol intervient donc plus tard que dans le modèle précédent.

Dans les conditions de l'année 1963, l'ETR est partout légèrement augmentée. Le déficit devient insignifiant en Nivernais, mais reste de 10 à 15 % en Berry, le rapport Bourges/Châteauroux étant nécessairement inchangé. En 1964, l'ETR est majorée partout en valeur absolue de la même quantité, 10 à 15 mm, ce qui n'améliore pas sensiblement la relation ETR/ETP. On est tenté de conclure que l'augmentation de la RFU, quand la RU n'est pas modifiée, ne se traduit pour la végétation que par une légère bonification du bilan de l'eau en année humide, et n'entraîne en année sèche qu'une différence de l'ordre de grandeur des erreurs de calcul (Tableau 67).

## LA SAISON DE VEGETATION

En 1963, la durée de la sécheresse est réduite; elle tombe de quinze jours à une semaine à Nevers; à Châteauroux et à Bourges, les difficultés commencent au 15 juin au lieu du 15 mai, mais ne se terminent quelques jours plus tôt que sur l'ouest de la Champagne. Pour la végétation, cette limitation dans le temps d'un déficit qui n'est pas quantitativement transformé comporte deux conséquences contradictoires: d'abord l'allongement de la période d'élaboration optimale de la biomasse, puis un ralentissement des processus plus sévère que sur les sols à réserve de survie plus grande.

En 1964, à quelques jours près, il n'y a pas de modification de la durée des restrictions à Bourges. A Châteauroux, la régulation stomatique entre en jeu à peu près en même temps pour les deux modèles de sol; et il n'est sans doute pas très important que son intervention soit beaucoup plus discrète au-delà de la mi-octobre, dans le cas où la RFU atteint 60 mm. A Nevers, les prémices de la sécheresse ne se manifestent qu'en juin, mais le freinage de la transpiration devient vite brutal. Cette observation a valeur générale, puisque aussi bien l'ETR est à peine augmentée pour les trois stations.

Pour une RU limitée, il n'apparaît pas, qu'en année à pluviométrie déficitaire, une RFU relativement élevée constitue pour la végétation une condition vraiment favorable.

## LE CLIMAT FORESTIER

### *c) Les conditions pour les forêts:*

#### *L'évapotranspiration potentielle:*

Les évaluations de l'évapotranspiration potentielle pour les forêts (1) ont été faites sur des périodes moins longues que pour les prairies, du 14 avril au 21 novembre en 1963, du 15 avril au 5 novembre en 1964. Cette manière d'opérer, qui tient compte du retard de la feuillaison des arbres sur la pousse de l'herbe a l'inconvénient de rendre plus difficile la comparaison des conditions dans lesquelles se trouvent respectivement les formations arborescentes et les formations herbacées ; mais l'obstacle est tourné aisément par le calcul de l'ETP pour albedo = 25 % pendant le même laps de temps que pour albedo = 15 %. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau récapitulatif 68, p. 184-185.

L'évapotranspiration potentielle pour les forêts (Tableau 49, p. 144, et suivants), calculée sur la base d'un albedo constant de 15 % est naturellement supérieure à celle des formations herbacées ; la différence est de l'ordre de 1/7, légèrement plus faible en Berry qu'en Nivernais, car pour Nevers, dans l'établissement de la balance d'énergie, le premier terme de l'équation de Penman pèse relativement davantage que pour les autres stations.

---

(1) - au moment d'examiner le bilan de l'évapotranspiration de la forêt, il paraît nécessaire de rappeler encore une fois le caractère d'incertitude accrue qui pèse sur son évaluation. Mais la sous-estimation probable du phénomène n'enlève pas leur valeur aux comparaisons régionales.

## LA SAISON DE VEGETATION

Si l'on tient compte que la saison de végétation des prairies et pelouses dure plus longtemps que la phénophase feuillée de la forêt, le décalage entre les ETP cumulées tombe à 1/12, la hiérarchie des valeurs n'étant pas modifiée (Tableau 68). Les inflexions des courbes sont aussi conservées aux mêmes moments, puisque l'influence du facteur rugosité a été ignorée et que le deuxième terme de l'équation de Penman est inchangé (Fig. 111 p. 178 et 112, p. 179).

L'évolution dans le cadre des séquences de temps montre qu'en 1963 la demande en eau dépasse en Berry celle de Nevers jusqu'à fin août, et comporte dans le détail des changements brutaux (Fig. 124-126-128, p. 224-226). Pendant l'arrière-saison l'ETP n'est pas moindre à Nevers, où elle est satisfaite, qu'en Champagne berrichonne, où il y a pénurie. La courbe de Nevers n'enregistre alors que des fluctuations à moyenne période: cette situation résulte à la fois d'un bilan de rayonnement un peu plus favorable, et d'une réduction de la variabilité du terme  $f(E_a)$ , puisque l'ETR n'est jamais inférieure à l'ETP.

En 1964, sur l'ensemble de la phénophase feuillée, la demande est toujours plus élevée en Berry qu'en Nivernais.

La prise en considération des variations de l'albedo en fonction du stade phénologique et des circonstances météorologiques affecte peu les valeurs annuelles de l'évapotranspiration potentielle (Tableau 68). Pour les trois stations M.N., les écarts sur l'ensemble de la saison de végétation sont de l'ordre d'une ou deux dizaines de millimètres, soit 3 à 4 % en 1963

## LE CLIMAT FORESTIER

et 2 à 3 % en 1964, trop faibles pour être significatifs. Mais la similitude des valeurs cumulées résulte en partie de compensations statistiques : les corrections de l'albedo, ajustées sur le modèle de Virelles-Blaimont (1), conduisent en effet alternativement à une augmentation et à une diminution des quantités d'énergie déterminant la demande en eau.

En 1964 comme en 1963, en Berry comme en Nivernais, l'évapotranspiration potentielle, estimée sur la base d'un albedo modulé, est d'abord légèrement supérieure à celle fondée sur un albedo constant de 15 % (Fig. 113, p. 180). La cumulation des écarts atteint modestement 2 à 3 mm en mai (Fig. 116 a et 117 a, p. 182). La courbe représentative connaît alors un changement de pente, en relation avec le moment où l'albedo variable atteint, selon les hypothèses retenues pour le calcul, le taux de 15 %. Pendant un mois et demi à deux mois, l'évaluation fondée sur un albedo constant comporte alors un risque de surestimation de l'ETP de l'ordre de 15 mm, soit 5 à 6 % de la demande climatique.

Une nouvelle inflexion de la courbe, plus nette en 1963 qu'en 1964, associée au tassement estival des valeurs de réflectivité, intervient fin juin - début juillet ; de ce moment jusqu'à novembre, la fourchette entre les évaluations se réduit à 8 à 10 mm pour quatre mois à quatre mois et demi ; l'écart est particulièrement faible jusqu'à fin septembre, époque à laquelle la courbe se redresse avec le jaunissement du feuillage.

La détermination des besoins *maxima* en eau en fonction d'un albedo modulé porte l'hypothèque des choix effectués sur les

---

(1) - cf. p. 156.

## LA SAISON DE VEGETATION

marges de fluctuation de la réflectivité . Sous cette réserve, l'influence de la phénophase paraît dominante, puisqu'elle définit l'évolution rythmique de la demande (Fig. 116 b et 117 b). Mais le décalage qui se manifeste entre 1963 et 1964, ainsi que les dents de scie qui accidentent les graphiques par séquences de temps, montrent que l'impact des conditions météorologiques est très important. L'identité approximative des valeurs annuelles, et à un moindre degré des valeurs saisonnières, ne permet pas de conclure à la similitude instantanée des besoins.

L'introduction, dans l'appréciation de l'ETP, de la fraction du rayonnement qui atteint la couverture herbacée et le sol dans la période d'éclosion du feuillage des arbres n'apporte par contre que des retouches insignifiantes à l'évaluation fondée sur les seules variations de l'albedo . Eu égard en outre aux critiques qu'appelle cette manière de procéder, les résultats obtenus autorisent à conclure qu'il n'y a pas d'inconvénient majeur à négliger ce facteur (1) . Du même coup, les réserves que pouvaient provoquer les hésitations sur la date choisie comme point de départ de la végétation pour le calcul de l'ETP forestière se trouvent minorées.

Les renseignements fournis par les stations du plateau permettent de juger dans quelle mesure l'évapotranspiration potentielle de Nevers est représentative des conditions régnant sur l'ensemble du Nivernais, étant entendu que l'emploi de la formule aménagée limite nécessairement les écarts.

---

(1) - les ajustements empiriques auxquels il est nécessaire de recourir, en l'absence de mesures, pour l'évaluation du rayonnement transmis au sol et pour la réduction de vitesse du vent sous le couvert, sont sources d'erreurs.

## LE CLIMAT FORESTIER

L'expression utilisée a été testée à Bourges avec des résultats satisfaisants (Tableaux 69 à 74, p. 186-197). Sur la période de végétation (1), la demande climatique *maxima* diffère de 22 mm en 1963 (3,5%) et 20 mm en 1964 (2,6%). Les variations de pente des courbes de cumulation (Fig. 118-119, p. 183) sont synchrones et de semblable valeur angulaire. La comparaison effectuée avec les valeurs d'ETP fondées sur un albedo modulé aboutit à des constatations identiques.

Les chiffres enregistrés dans le détail des séquences de temps (Fig. 114-115, p. 180) présentent naturellement une variabilité plus élevée, la différence pouvant atteindre dans les cas extrêmes presque 1 mm par jour en plus (13 au 17 juillet, 22 au 26 juillet, 4 au 6 août 1964), ou en moins (16 au 19 août 1964). Ces discordances pourraient conduire à écarter l'utilisation simultanée des deux formules de calcul; mais il ne faut pas oublier que les décalages sont liés en bonne part aux imperfections dans la coïncidence des périodes d'observation; ainsi, pour la séquence du 13 au 17 juillet 1964, en utilisant rigoureusement le même cadre temporel, la discordance entre les résultats tombe à 2/10 mm, soit 3 à 4%. Est-on en mesure d'exiger une telle précision des évaluations de l'ETP? Ne peut-on par contre accepter l'idée que les différences dues au déphasage des intervalles de calcul -(il n'est relativement important que pour les périodes très courtes)- sont probablement compensées de façon con-

---

(1) - la lecture du Piche étant interrompue dans les stations M.N. le 1er novembre, il a été nécessaire d'arrêter la cumulation au 29 octobre en 1963, au 25 octobre en 1964.



## LA SAISON DE VEGETATION

venable d'une séquence à l'autre? S'il faut donc se garder d'accorder un crédit exagéré aux valeurs instantanées, les changements principaux de pente des courbes saisonnières sont par contre très expressifs de la réalité. Dans cette optique, les deux formules donnent des représentations concordantes.

La méthode acceptée, l'examen comparatif des résultats obtenus pour Prémery et Raveau d'une part (Tableaux 75 à 86, p. 198-221) et Nevers d'autre part, précise le contexte hydrique dans lequel se situent les forêts de la partie orientale de la di-tion. Les besoins en eau sont semblables à l'Usage défendu et au Chasnay (Fig. 120 et 121, p. 222). Les facteurs régionaux qui pèsent sur l'ETP sont plus efficaces que les conditions de site, puisque le poste d'observation de Prémery est en lisière de la forêt, au sommet d'un versant orienté au Sud, tandis que celui de Raveau se trouve dans une vaste clairière de la Bertrange vers le haut d'une longue pente exposée à l'Ouest. Par rapport à Nevers, l'écart sur la saison de végétation est de 25 à 30 mm, inférieur à 5 % en 1963, à 4 % en 1964. On pourrait conclure à l'identité de la demande climatique, si les courbes de cumulation, pratiquement confondues ou très proches d'avril à juillet ne présentaient ensuite une divergence non négligeable: au 1er août, la différence est de 10 à 11 mm en 1963, (2,5 %), de 6 à 8 mm en 1964 (2 %); elle frôle les 20 mm du 1er août à novembre (8 à 10 %). Il semble donc que l'ETP soit un peu plus modeste sur le plateau nivernais pendant la fin de l'été et l'arrière-saison.

## LE CLIMAT FORESTIER

A l'échelle des séquences de temps, la comparaison des trois stations montre, aussi bien en 1963 qu'en 1964 (Fig. 122-123, p. 223), que pendant la première moitié de la phénophase feuillée, la demande est tour à tour supérieure à Nevers, Prémery ou Raveau; juillet terminé, il se confirme qu'elle est moindre sur le plateau à peu près constamment. Tous les autres paramètres restant semblables, cette situation ne semble imputable qu'à un déficit de saturation de l'air moins prononcé. La définition de la transpiration réelle devrait corroborer cette explication.

### *L'évapotranspiration réelle:*

#### 1 - LE CAS FAVORABLE DES SOLS

##### A RESERVE HYDRIQUE IMPORTANTE

(RU = 250 mm, -RFU = 140 mm):

Le bilan hydrique des formations forestières a été examiné pour trois modèles de sols:

RU = 250 mm, - RFU = 140 mm,

RU = 250 mm, - RFU = 110 mm,

RU = 100 mm, - RFU = 50 mm.

Le modèle défini par une réserve hydrique utile de 250 mm et une réserve facilement utilisable de 140 mm représente, parmi les cas envisagés, le plus favorable à la couverture optimale des besoins en eau de la végétation. Ce contexte édaphique n'évite pas cependant, d'une année à l'autre, des différences aussi importantes que celles qui, sur les rendzines, ont été observées pour les formations herbacées.

## LA SAISON DE VEGETATION

En 1963, malgré l'augmentation de la demande par rapport aux pelouses et aux prairies, les forêts installées sur ce type de sol ne souffrent pas, en Nivernais, ou en Berry souffrent tardivement et dans l'ensemble modérément, de la sécheresse (Tableaux 61 à 63, p. 166-171 et 79-80, p. 206-209, Fig. 111). A Nevers, Prémery, Raveau, les stocks de survie ne sont jamais entamés; à Bourges et Châteauroux, le freinage par augmentation du potentiel efficace du sol n'intervient pas avant le 14 juillet.

En 1964, l'évapotranspiration réelle des forêts sur sols à réserve favorable (Tableaux 64 à 66, p. 172-177 et 85-86, p. 218-221, Fig. 112) est encore très supérieure à celle des prairies, et les mécanismes de réduction entrent en jeu avec un retard d'environ un mois, les décalages entre les stations restant analogues à ceux qui se manifestent pour les couverts herbacés: les courbes d'ETP et d'ETR se séparent dans le courant du mois de juin, d'abord à Bourges dès le 7, puis à Châteauroux à compter du 20, enfin à Nevers le 27. La hiérarchie dans l'aridité ne peut pas non plus être modifiée. Bourges et Châteauroux ont des ETR semblables jusqu'à fin août - début septembre, ce qui signifie, l'ETP de Bourges étant plus élevée, que la Champagne orientale subit une sécheresse plus intense. Mais sur l'arrière-saison, comme pour les pelouses, c'est dans l'ouest du Berry que le ravitaillement demeure critique.

Pour les stations du plateau nivernais, à demande identique, une disette limitée se manifeste partout (1/4 des besoins), avec un léger désavantage pour Prémery, imputable à une pluviosité moins propice à l'entretien de la réserve du sol.

## LE CLIMAT FORESTIER

Dans le cadre des séquences de temps, pour 1963, les trois courbes de Nevers,Prémery et Raveau sont presque superposables (Fig. 122,p. 223,124,p. 224,130-131,p. 227).Mais l'évolution de l'humidité édaphique montre que Nevers a frôlé les restrictions à la fin de la période ensoleillée de la deuxième quinzaine de juillet.A ce moment,il y avait encore 30 mm d'eau facilement extractible à l' Usage défendu, et de l' ordre de 50 mm au Chasnay. Sur la totalité de la saison,c' est Raveau qui a bénéficié des meilleures conditions d'entretien de la réserve du sol,la capacité au champ étant atteinte début juillet,en août longuement, et encore début octobre.

L'amélioration des conditions de transpiration est en Nivernais nécessairement mesurée en regard du bilan déjà favorable des pelouses (Fig. 105 et 124) . Il n' en va pas de même en Berry (Fig. 107 et 126,109 et 128) . Il y a déjà longtemps (un mois et demi) que l'ETR des prairies est restreinte,et la pousse de l' herbe ralentie,lorsque les mécanismes de freinage interviennent pour réduire la consommation des forêts,jusque là à peu près égale sur l'ensemble de la plaine.L' élaboration de la biomasse forestière s' effectue durablement,comme en Nivernais, dans les conditions optimales d'humidité

Vers la fin du mois de juillet,la situation se dégrade brutalement à Bourges, mais en août le déficit redevient négligeable,tandis qu'à Châteauroux,l'ETR rejoint l'ETP,dont elle s'était peu éloignée .C'est seulement en fin d'été et en début d'automne que la transpiration se trouve amoindrie de façon notable pour les surfaces boisées du Berry.Sur la série de séquen-

## LA SAISON DE VEGETATION

ces de temps qui se déroule du 22 août au 8 octobre, la consommation maximale théorique est amputée de 1/7 sur l'ouest de la Champagne, d'un bon quart sur l'est. Dans le même temps, la demande des formations herbacées est couverte aux 9/10 et aux 4/5. Face à des besoins accrus, l'amélioration du ravitaillement liée à une capacité de rétention élevée du sol est alors plus sensible à Châteauroux, où les premières pluies automnales ont été abondantes qu'à Bourges où octobre connaît une queue de sécheresse persistante. Sauf en septembre, l'ETR de Châteauroux est supérieure à celle de Nevers ; à Bourges par contre, à sollicitation climatique égalant ou dépassant celle de Nevers, la transpiration réelle est plus faible pendant trois mois, soit trois semaines en juillet, puis de fin août à fin octobre.

Pour l'année 1964, l'analyse de la pénurie généralisée qui affecte la dition, montre que dans son évolution elle présente des dissemblances qui, avec des nuances, corroborent les observations faites en 1963. A Bourges (Fig. 136, p. 230), la réserve facilement utilisable est tarie dès le début de juin, et la sécheresse aiguë commence quinze jours plus tard, au moment où le temps des restrictions arrive à Châteauroux (Fig. 134, p. 229). Jusqu'à début août, les forêts du Berry oriental pâtissent davantage du manque d'eau ; la situation s'inverse ensuite, comme pour les pelouses. La demande a été en effet plus forte au départ à Bourges, et la réserve de survie a été entamée plus tôt. Une limitation rigoureuse de la consommation en résulte dès lors, cependant qu'à Châteauroux l'humidité résiduelle est à son tour progressivement épuisée. Fin juillet, le niveau des ressour-

## CLIMAT FORESTIER

ces est également bas dans toute la Champagne . L'ETP est aussi presque identique . Aussi suffit-il d'une pluviométrie un peu plus défavorable pour que l'aridité se prolonge à Châteauroux davantage qu'à Bourges .

En Nivernais, où la situation est beaucoup moins grave, c'est encore l'ouest du massif forestier (Raveau) qui se trouve dans les conditions -relativement- les meilleures (Fig. 140, p. 232). Une réduction importante de la transpiration n'y intervient que dans la deuxième décade de juillet. Durant la seconde quinzaine d'août, une atténuation de la sécheresse se produit, puis le manque d'eau se réaffirme et se prolonge jusqu'à début octobre. L'ETR évolue à Nevers sensiblement selon le même rythme (Fig. 132, p. 228). A Prémary, si le freinage de la transpiration disparaît plus tôt, pratiquement à la mi-septembre, la disette a été bien plus précoce et brutale (Fig. 138, p. 231). Pour autant, il n'y a pas de commune mesure avec l'aridité du Berry.

En résumé, que l'année soit sèche ou humide, les conditions de sol considérées comme les plus favorables ne suffisent pas à effacer pour la forêt, entre la plaine qui occupe l'Ouest de la région et les pays accidentés et boisés de l'Est, les différences dans l'économie de l'eau constatées pour les prairies.

2 - LE MODELE DE SOL RU = 250 mm, RFU = 110 mm :

Une réserve facilement utilisable plus faible suppose une certaine avance de l'entrée en jeu des mécanismes de régulation de la transpiration . Mais, dans ce cas, les prélèvements ulté-

# LA SAISON DE VEGETATION

rieurs sont effectués sur une réserve de survie bonifiée; et la rigueur du rationnement peut n'être que médiocrement augmen-

De la combinaison subtile de ces conditions résultent pour la végétation des conséquences qui ne sont déconcertantes qu'au premier abord. En 1963, pour les stations du plateau nivernais, la RFU n'a jamais été totalement tarie (Fig. 130 et 131, p. 227): il n'y a donc pour les forêts aucune différence dans l'économie de l'eau, qu'elles soient installées sur ce modèle de sol ou sur le précédent. A Nevers cependant (Fig. 125, p. 224), la régulation stomatique intervient à deux reprises, en juillet et en septembre, n'entraînant il est vrai qu'une bien faible réduction de la consommation. En Berry, la sécheresse s'affirme de manière différenciée: Châteauroux (Fig. 127, p. 225) pâtit d'un déficit mesuré mais pratiquement continu de juin à octobre; Bourges souffre en outre d'un accroissement de la pénurie en juillet. Pour

(1) - en effet, d'après l'expression (4), p. 242, le rapport  $\frac{Rn}{Ro}$  qui définit la réduction de la réserve de survie du sol a pour valeur:

$$\frac{Rn}{Ro} = \left(1 - \frac{e}{Rs}\right)^n = \left(\frac{Rs - e}{Rs}\right)^n \quad (1)$$

Si ce coefficient est  $k_1$  dans le cas où la réserve de survie ( $Rs_1$ ) a pour valeur limite 110 mm (RFU = 140 mm), et  $k_2$  dans le cas où la réserve de survie a pour valeur limite 140 mm (RFU = 110 mm):

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{\left(\frac{Rs_2 - e}{Rs_2}\right)^n}{\left(\frac{Rs_1 - e}{Rs_1}\right)^n} = \left(\frac{Rs_1 \times (Rs_2 - e)}{Rs_2 \times (Rs_1 - e)}\right)^n \quad (2)$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \left(\frac{140 - e}{110 - e} \times \frac{11}{14}\right)^n \quad (3)$$

Si l'on admet que, dans la pratique,  $e$  varie entre 0 et 7 mm, et  $n$  entre 1 et 8 jours:

$$1 \leq \frac{k_2}{k_1} \leq 1,123 \quad (4)$$

## LE CLIMAT FORESTIER

cette année à pluviométrie normale ou excédentaire, il y a donc lieu de conclure que la diminution du rapport RFU / RU comporte un risque de dégradation des conditions de ravitaillement en eau de la forêt.

En 1964, on constate partout que la sécheresse commence, normalement, à une date plus précoce que sur les sols dont la RFU atteint 140 mm ( Fig. 133-135-137-139-141, p. 228-232 ); la différence est de l'ordre de dix à quinze jours ; mais rapidement une uniformisation locale des déficits se réalise ; et à partir de juillet, il n'existe plus, d'une séquence de temps à l'autre, d'écart notable entre les forêts installées sur l'un et l'autre modèle de sol. Les graphiques d'évolution de la réserve résiduelle montrent que celle-ci demeure légèrement plus élevée dans le cas d'une RFU limitée à 110 mm que pour RFU = 140 mm. Au total, il est difficile d'apprécier les conséquences d'une réduction de la quantité d'eau facilement extractible sur l'élaboration de la biomasse forestière. En année sèche, pour autant que la réserve totale soit élevée, elle ne constitue pas un facteur d'aggravation affirmée de la disette. Cette constatation rejoint celle qui avait été faite pour les formations herbacées.

### 3 - LES FORETS SUR SOLS

#### A RESERVE HYDRIQUE LIMITEE:

Les forêts les plus xérophiles, -elles sont aussi les plus thermophiles-, sont dans la région installées comme les pelouses sur des sols rendziniformes, et liées à des sites analogues. Les



## LA SAISON DE VEGETATION

deux types de groupements végétaux appartiennent d'ailleurs aux mêmes séries évolutives. Pour permettre la comparaison de leur économie de l'eau, une réserve utilisable identique (100 mm) a été retenue, bien que la pénétration en profondeur des racines eût pu justifier la prise en considération d'une quantité un peu supérieure pour les arbres et les arbustes. Mais la RFU du modèle de sol a été portée à 50 mm, au lieu de 40 mm pour les pelouses.

Le taux de couverture des besoins est naturellement inférieur à celui des formations herbacées, puisque l'ETP est plus élevée. En 1963, la différence est davantage marquée à Châteauroux qu'à Bourges (Tableau récapitulatif 68, tableaux 49-50, p. 142-147, Fig. 142-143, p. 235). A Nevers un déficit de 10% apparaît (Tableau 51, p. 148-149 et Fig. 146, p. 236), limité dans le temps. Sur le plateau, la durée des privations, peu sévères est aussi très brève; à Prémary, le freinage de la transpiration joue sur la dernière semaine de juillet et sur la troisième semaine de septembre (Tableau 75, p. 200-201 et Fig. 145, p. 236); à Ravéau, on peut compter aussi sur quinze jours de rationnement, mais en une seule fois, pendant la deuxième moitié de juillet (Tableau 76, p. 202-203 et Fig. 146, p. 236).

Pour la partie orientale de la région, dans les pires conditions de sol, le ravitaillement en eau de la végétation forestière n'est réellement diminué que pendant une courte période de l'été 1963. En Berry, on peut conclure à une aggravation de la sécheresse sensiblement uniforme sur l'ensemble de la phénophasse feuillée dans la partie orientale; à Châteauroux, la distribu-

L' CLIMAT FORESTIER

tion temporelle des séquences pluvieuses a pour effet un déficit d'arrière-saison plus prononcé que pour les pelouses (Fig. 107 et 142), et surtout l'apparition de restrictions dès le départ de la végétation forestière (mai-juin). Les forêts xérophiles se trouvent alors dans des conditions voisines, -défavorables-, sur toute la plaine berrichonne. Même en année pluvieuse, l'élaboration de la biomasse, dans le contexte édaphique des rendzines, ne peut être que très lente dans l'ouest de la région.

Dans ce domaine, en année sèche, les échanges gazeux au niveau des stomates sont réduits dans une forte proportion et pendant la plus grande partie de la saison de végétation. En 1964, une aridité extrême règne à Bourges de juin à septembre (Tableau 53, p. 152-153 et Fig. 148, p. 237) ; à Châteauroux (Tableau 52, p. 150-151 et Fig. 147, p. 237) s'ajoute une queue de sécheresse qui n'en finit pas ; à l'Est de la Loire, les conditions, sans être bonnes, ne sont pas aussi désastreuses ; à Nevers, la période critique se réduit à un mois (Tableau 54, p. 154-155 et Fig. 149, p. 238), tout comme à Raveau (Tableau 82, p. 214 - 215 et Fig. 150, p. 283) ; et c'est, normalement, à Prémery que l'ambiance est la plus défavorable (Tableau 81, p. 212-213 et Fig. 151, p. 238). Dans le cadre des forêts xérophiles, s'accusent donc les contrastes locaux et régionaux qui se manifestent dans toutes les conditions édaphiques, mais sont plus discrets sur les sols à grand volume de réserves hydriques.

## LA SAISON DE VEGETATION

### 4 - EVAPOTRANSPIRATION DES FORETS

#### ET VARIATIONS DE L'ALBEDO:

L'altération des valeurs séquentielles de l'ETP en fonction des variations de l'albedo a des répercussions sur l'ETR. Pour les forêts sur substrat sec, l'année 1963 (Fig. 152-153-154, p. 239) est caractérisée dans toute la région par une atténuation de la sécheresse en juin-juillet, importante du point de vue biologique, tandis que sur la fin de saison, il n'y a pas grand changement. Le phénomène se reproduit en moins accentué en 1964 (Fig. 155-156, p. 240).

Pour le modèle de sol  $RU = 250$  mm,  $RFU = 140$  mm, la transpiration réelle reste en Nivernais égale à l'ETP en 1963, comme dans le cas d'un albedo constant (Fig. 157, p. 241). En Berry, le déficit de consommation se produit à la même date, mais il est partout diminué (Fig. 159, p. 242 et 161, p. 243). En 1964, à l'ouest de la Loire, le recul de la sécheresse est fort peu marqué (Fig. 163, p. 244). En Nivernais, il en va semblablement, la mi-juillet passée (Fig. 165, p. 245).

Pour le modèle de sol  $RU = 250$  mm,  $RFU = 110$  mm; l'évolution de l'ETR dans le cas de l'albedo variable est, par rapport au cas de l'albedo égal à 15, inchangée comme à Nevers en 1963, ou à peine améliorée, en Nivernais en 1964, en Berry en 1963 et 1964.

Il s'avère que les calculs fondés sur un coefficient de réflectivité de la forêt constant n'engendrent dans la détermination de la transpiration réelle qu'un risque d'incertitude tolérable; l'appréciation du phénomène, perturbée dans ses aspects

## LE CLIMAT FORESTIER

instantanés, redevient acceptable dans ses valeurs cumulatives; la répercussion, sur la deuxième partie de la phénophase feuillée, de la surestimation de l'ETP et de l'ETR dans le premier temps est progressivement amoindrie. Il est donc difficile de faire un choix entre l'approximation qui résulte du calcul du rayonnement net disponible en fonction d'un albedo invariable, et le doute qui est attaché à l'évaluation de ce rayonnement d'après une modulation empirique de l'albedo.

L'hésitation est encore plus grande quand il s'agit de tenir compte de la quantité d'énergie transmise au sol en début (et aussi en fin) de phénophase feuillée. Les figures 167-168-169 (p. 244-245), établies pour Châteauroux, et les calculs, faits également pour les autres stations, montrent que les modifications du régime de transpiration survenant en début de saison sont estompées au bout de deux mois.

### *Conclusions de l'enquête monographique :*

L'étude monographique des années 1963 et 1964 autorise deux séries de conclusions, les unes précisant les caractères du climat de la région, les autres éclairant le problème général de la couverture des besoins en eau de la végétation.

Le premier groupe apporte la confirmation de la dissymétrie climatique régionale à l'égard de l'humidité biologiquement efficace. Quand la saison de végétation a une pluviométrie opportune, le Berry n'est pas à l'abri d'une pénurie plus ou moins durable, plus ou moins intense, selon les types de sols. En année

## LA SAISON DE VEGETATION

sèche, l'aridité s'y affirme, la limitation de la transpiration est générale, y compris dans les conditions édaphiques les plus favorables. Globalement, le Nivernais n'est menacé de restrictions que pendant les étés à déficit pluviométrique accentué. Toutefois, un écrêtement de l'ETR, de durée limitée, est à envisager en permanence sur les sols à faible réserve. Les talus à pente forte, où le drainage se trouve amplifié, et notamment ceux dont l'orientation justifie simultanément un bilan énergétique plus élevé qu'en terrain plat, ne sont peut-être pas mieux lotis que les secteurs les plus défavorisés de la Champagne berri-chonne.

Des variations spatiales rapides de l'ETR sont à envisager en Nivernais. Mais il serait inadéquat de reprendre à propos de la transpiration l'expression utilisée lors de l'approche générale du climat, à savoir : homogénéité dans l'ouest de la région, hétérogénéité dans l'est. Le deuxième terme, -seul-, du diptyque est en effet remis en question par l'intense transpiration des grands massifs forestiers, combinée aux effets d'oasis. Les sites dont les éléments topographiques et édaphiques agissent dans le sens de l'aridité bénéficient d'une ETP régionale moins lourde qu'elle ne le serait en fonction des seuls facteurs locaux.

Dans la deuxième série de conclusions s'inscrit la constatation de la primauté à accorder à la notion d'ETR sur la notion d'ETP, dans l'optique géographique des conditions d'alimentation en eau de la végétation naturelle, non dans la perspective agronomique de la détermination des potentialités agricoles et de la planification de la productivité. Dès lors, les aspects

## CLIMAT FORESTIER

cumulatifs de la demande ont moins d'importance que ceux de la consommation, moins que la dynamique des possibilités de ravitaillement à chaque instant de la saison: l'époque des sécheresses, leur durée, les fluctuations de leur intensité, leur fréquence également, permettent de comprendre la structure et la composition des groupements végétaux et des séries évolutives auxquelles ils appartiennent.

### 3 - L' ANALYSE DECADEAIRE DE L' EVAPOTRANSPIRATION:

La méthode monographique, à cause de la longueur des dépouillements qu' elle exige, peut difficilement être appliquée à de nombreuses années. Mais une enquête limitée à deux ans autorise-t-elle des conclusions de portée générale? La référence aux normales n'apporte pas de véritable réponse à cette question. Il a semblé préférable de s'orienter vers une méthode d'échantillonnage moins réduit, mais acceptant une analyse moins exigeante. Le cadre décadaire a donc été retenu pour un élargissement à la période 1962-1968 de la définition de l'économie de l'eau.

Comme pour l'étude par séquences de temps, l'exploitation des résultats est précédée par un examen, sommaire, des conditions énergétiques et des régimes pluviométriques de cette série de sept années. En outre, deux tests préalables ont été effectués: pour les stations M.N., les évaluations de l'ETP par décades et par séquences de temps ont été confrontées; et comme condition d'utilisation des données de Prémery et Raveau, la concordance des valeurs décadaires calculées par la formule de Penman et par l'équation aménagée a été vérifiée.

## LA SAISON DE VEGETATION

### *a) Caractères des années 1962 à 1968:*

Dans les années 1962 à 1968, -le cas de 1963 et celui de 1964 ont déjà été envisagés-, des situations très diverses, habituelles dans la région, se trouvent réalisées en ce qui concerne la part des pluies qui détermine l'entretien, bon ou mauvais, de la réserve du sol.

Pour les trois stations de référence, à considérer la phénophase de croissance dans son ensemble (avril à octobre), 1962 est comme 1964 une année à pluviométrie déficitaire, alors qu'en 1967, une sécheresse relative n'est perceptible qu'à Nevers (Tableau 39). Les autres années sont dans une situation d'abondance régionale, mais avec des nuances : 1968 bat les records, et 1965 reçoit aussi beaucoup d'eau ; aux pluies excédentaires de Nevers et Châteauroux en 1963, s'oppose le chiffre à peine normal de Bourges, tandis qu'en 1966, c'est sur la Champagne orientale que le supplément de précipitations est de beaucoup le plus important.

Ce premier classement est sensiblement modifié si l'on se réfère de préférence à la période de grosse consommation potentielle. 1965 n'est plus alors vraiment excédentaire qu'à Châteauroux ; et la pluviométrie de 1967 est médiocre partout.

Au plan des fluctuations mensuelles, parmi les années "sèches", 1962 (Fig. 92) fournit l'exemple d'un printemps arrosé suivi d'une longue période déficitaire, étendue jusqu'à l'automne ; la fin de la phase vernale reçoit peu de pluie en 1964, mais l'arrière-saison (septembre) est humide (Fig. 94) ; en 1967,

## LE CLIMAT FORESTIER

le déficit est concentré sur les deux mois de juin et juillet (Fig. 97).

Parmi les années "mouillées", 1965 ne devient humide qu'en septembre, à l'époque où la demande est déclinante (Fig. 95); 1963 (Fig. 93) et 1968 (Fig. 98) connaissent un creux estival prononcé qui les rapproche de 1967. Sous réserve des retouches qu'apporterait éventuellement l'analyse par séquences de temps, c'est sans doute 1966 (Fig. 96), sauf peut-être à Châteauroux, qui offre globalement les conditions les meilleures de reconstitution de la réserve d'eau du sol, à mesure que les prélèvements effectués par les plantes tendent à l'épuiser.

La prise en considération des stations du plateau, le Chasnay et l'Usage défendu, confirme le synchronisme, déjà observé pour 1963 et 1964, de leur régime pluviométrique avec celui de Nevers (Tableau 40). D'une année à l'autre, les fluctuations vont dans le même sens (Fig. 168 A, p. 246). Il semblerait que, d'avril à octobre, Prémery et Raveau bénéficient de précipitations mieux équilibrées (Fig. 168 B); mais en raison du petit nombre d'années d'observation, ce caractère ne doit pas être retenu comme une certitude; il n'a peut-être qu'une valeur circonstancielle. D'ailleurs, sur les mois de mai à septembre (Fig. 168 C), la régularité pluviométrique du plateau n'est pas aussi clairement établie.

L'abondance plus grande des pluies s'affirme à Prémery, et enregistre la primauté de l'influence de l'altitude sur celle de l'orientation. Mais la répartition spatiale des précipitations présente d'une année à l'autre des variations suffisantes



## LA SAISON DE VEGETATION

pour que la végétation ne se trouve pas dans des conditions uniformes sur l'ensemble du Nivernais (Fig. 102); 1963 et 1966 sont des années plus arrosées sur le plateau, et l'entretien de la réserve y est meilleur qu'à Nevers d'avril à octobre. Parmi les années sèches, 1967 fournit l'exemple d'un approvisionnement plus favorable sur le haut pays. Mais c'est l'année humide 1965 qui réalise les conditions les plus originales, par une sorte d'inversion de la répartition habituelle des pluies; le hasard de la localisation des averses orageuses semble seul susceptible de rendre compte du déficit pluviométrique des hauteurs du Nivernais. De ce point de vue, on peut se demander, en modifiant quelque peu l'opinion de Bony (1), si l'action réfrigérante de la forêt n'est pas responsable d'une auto-limitation des pluies en période d'abondance pluviométrique: bien que la diminution de température au-dessus des régions boisées soit dans ces circonstances modérée (2), elle s'oppose, avec des effets plus marqués qu'en situation de sécheresse, aux mouvements verticaux qui permettraient aux masses d'air, dans les conditions météorologiques régionales de tension de vapeur élevée, que la transpiration locale augmente donc peu, d'atteindre l'altitude à laquelle le rapport de mélange devient saturant.

---

(1) - Bony J., 1951.

(2) - du 1<sup>er</sup> juin au 31 août, entre un Berry qui serait intégralement dénudé et un Nivernais qui serait totalement boisé, le calcul, appliqué à la tranche atmosphérique comprise entre le sol et 1500 m d'altitude, et fondé sur les ETR obtenues dans l'étude décennale, donne des écarts moyens de température de 1,1 à 3,3 degrés par jour en année sèche (1962 = 2,4°; -1964 = 3,3°; -1967 = 1,2°), de 0,7 à 1,7° par jour en année humide (1963 = 1,7°; -1965 = 0,7°; -1966 = 1,2°).

## LE CLIMAT FORESTIER

Parce que la comparaison des années étudiées comporte beaucoup d'incidentes, il a paru utile de résumer dans la figure 176 (p. 251), le classement qui peut être effectué, en fonction non seulement des données quantitatives brutes, mais aussi de l'appréciation, - subjective -, du rôle plus ou moins favorable dans l'optique biologique, du volume des précipitations et des quantités d'énergie, en rapport avec le déroulement des saisons.

### *b) Le test de la formule aménagée:*

Le test de la formule aménagée, dans son utilisation décadaire, est positif (Tableau 88, p. 252-253 et Fig. 178, p. 254). La cumulation, d'avril à octobre, de l'ETP calculée selon la formule de Penman d'une part, et de l'autre selon la formule aménagée diffère peu: la fourchette va de -3,6 % en 1965 à +4,5 % en 1962. La forme des courbes décadaires est semblable. Les écarts sur les moyennes quotidiennes sont atténués par rapport aux valeurs calculées par séquences de temps (plus brèves), l'incidence de la discordance entre les intervalles de mesures se trouvant réduite par l'allongement de la période. Il reste que le coefficient exprimant l'influence de l'abri demande à être affiné. Enfin, les chiffres plus élevés fournis en été par la formule aménagée pour les années " sèches " 1962, 1964 et 1967, laissent soupçonner que les effets d'oasis ne sont pas, dans les conditions de Bourges, totalement négligeables à l'échelle de l'abri.

## LA SAISON DE VEGETATION

### *c) Comparaison des évapotranspirations potentielles et réelles, calculées par séquences de temps et par décades:*

Les deux années 1963 et 1964 permettent la comparaison des évapotranspirations, potentielles et réelles, calculées par décades et par séquences de temps. La perte d'information liée au choix d'un intervalle de durée arbitrairement définie n'est pas contestable. L'exemple de Châteauroux en 1963, pour albedo = 15 %, -RU = 250 mm, -RFU = 140 mm, conditions qui devraient minimiser les différences, montre que la simplification des courbes qui résulte de l'oblitération des à-coups de la demande ne trahit pas le mouvement général de l'économie de l'eau; mais l'intensité de la sécheresse est cernée plus grossièrement; le déficit peut éventuellement être effacé (juin 1963); et sa localisation dans le temps est moins précise (Fig. 177, p. 251); la courbe d'évolution de la réserve du sol supporte bien entendu de semblables défauts (1).

La série des figures 179-184 (p. 255-257), qui correspondent aux conditions des formations herbacées (albedo = 25 %, -RU = 100, -RFU = 40 mm) et des figures 185-190 (p. 256-258), qui traduisent la situation des forêts (albedo = 15 %) pour le modèle de sol RU = 250 mm, -RFU = 110 mm, montre (2) qu'en 1963 l'utilisation du

---

(1) - dans la comparaison systématique des années 1963 et 1964, on s'est contenté, pour les figures 179 à 190, de tracer cette courbe d'évolution de la réserve du sol.

(2) - la comparaison est un peu obscurcie par le défaut de concordance rigoureuse des dates retenues comme point de départ de la végétation.

## LE CLIMAT FORESTIER

rythme décadaire ne défigure pas la courbe de la demande, ni celles qui expriment l'évolution de la réserve et de la consommation. La surestimation relative de l'ETR qui apparaît pour 1964 ne constitue pas une objection assez grave pour condamner l'emploi d'une méthode qui élargit dans le temps l'étude des bilans hydriques régionaux. Mais elle invite à ne pas dépasser, entre Berry et Nivernais le stade qualitatif des comparaisons.

### *d) Enseignements de l'analyse décadaire:*

Les résultats de l'analyse décadaire s'accordent pleinement avec le classement des années 1962 à 1968, tel que l'avait autorisé l'examen détaillé des données de rayonnement et de pluviométrie. 1963, 1965, 1966 et 1968 sont de "bons millésimes", pendant lesquels les formations herbacées et forestières n'ont pas, ou ont peu souffert dans leur ravitaillement en eau; ces groupements ont par contre vécu des saisons difficiles en 1962, 1964 et 1967.

Pendant les années sèches, l'aridité est systématiquement plus aiguë en Berry; l'évolution des réserves dans le sol s'exprime dans des courbes qui se répartissent nettement en deux groupes, correspondant aux deux grandes divisions de la région.

Les années humides vérifient aussi cette opposition, à l'exception de 1965, où le Nivernais connaît un déficit analogue à celui du Berry occidental, plus élevé qu'au-dessus de la Champagne orientale. Comme le laissait prévoir la pluviométrie, l'occurrence d'un bilan hydrique moins favorable en Nivernais ne peut

## ACCIDENTS CLIMATIQUES

être écartée; il serait imprudent d'en présumer la fréquence sur la base des observations effectuées.

Mais il est bon de constater que, dans le seul cas observé, le désavantage du Nivernais s'amenuise sur les sols à réserve importante, qui couvrent justement les surfaces les plus étendues. Tout compte fait, les forêts, sinon les formations herbacées, sont donc à l'Est de la Loire, dans des conditions d'approvisionnement en eau égales ou supérieures à celles de la plaine berrichonne.

### 3° - ACCIDENTS CLIMATIQUES

Le climat de la forêt est perturbé dans sa régularité saisonnière par des accidents, dont certains n'ont qu'une incidence très localisée dans l'espace et dans le temps, dont d'autres persistent pendant des dizaines d'années sur l'aspect physionomique de la végétation, sont capables de modifier temporairement la structure des groupements, et en altérant plus ou moins gravement la croissance des arbres, mettent en question la rentabilité de la gestion. Les observations relatives à ces événements ont nécessairement un caractère épisodique, défavorable à une étude approfondie. Dans la région, les perturbations d'origine anthropique que constituent les incendies sont rares dans le présent. La menace du vent s'exerce pratiquement toute l'année; ses dégâts

## LE CLIMAT FORESTIER

sont plus visibles pour le profane que ceux du gel, qui d'un point de vue économique sont cependant plus lourds dans bien des cas.

### REMARQUES SUR LES EFFETS DU GEL:

Le gel automnal intervient éventuellement pour interrompre précocement la végétation; le gel printanier compromet la pousse, - il ne s'agit généralement que d'un retard -, et (ou) la floraison; le gel hivernal frappe les troncs, et occasionne des lésions irrémédiables.

La gélivure (1) est très courante chez les chênes dans certains cantons du plateau nivernais; on note par endroits jusqu'à 25 et 30 % d'arbres atteints, les troncs étant souvent tarés sur plusieurs mètres de hauteur et perdant leur valeur marchande.

La fréquence de ce vice a été mise en relation avec un excès saisonnier d'humidité édaphique (2); dans la dition, le phénomène n'est pourtant pas rare sur des sols correctement drainés.

La gélivure se produirait pendant les hivers rigoureux mais ensoleillés, les troncs étant alors soumis à de fortes amplitudes thermiques quotidiennes (3). De fait, les froids de 1956 com-

---

(1) - le terme gélivure est utilisé pour désigner les fentes radiales qui affectent le bois en profondeur, et s'expriment en surface par la formation de bourrelets cicatriciels; le gel qui atteint les cellules externes de l'aubier, qui de ce fait ne subissent pas la duraminisation, engendre la lunure.

(2) - Jacquot C., 1938.

(3) - Modlibowska J., 1961.

## ACCIDENTS CLIMATIQUES

me ceux de 1963 paraissent avoir provoqué un grand nombre d'accidents. Toutefois, un sondage réalisé pour vérifier si la face ensoleillée des troncs était la plus affectée s'est révélé négatif : les bourrelets se voient semble-t-il à toutes les orientations.

Après le départ de la végétation, le gel menace les tissus fragiles (tout jeunes rameaux et organes de reproduction). Bien que les atteintes du froid, en fonction de l'environnement météorologique et du stade phénologique du moment, correspondent à des températures fort diverses (1), le seuil de  $-1,5^{\circ}$  à  $-2^{\circ}$  dans l'abri est souvent retenu comme repère, commode bien qu'approximatif, du risque de lésion. Dans le cadre régional, il s'accorde convenablement avec les faits d'observation, au moins ceux qui concernent les jeunes chênes des fourrés, tant qu'ils n'ont pas dépassé 1 m à 1,2 m de haut, c'est-à-dire tant qu'ils n'ont pas une dizaine d'années. *Maximum* de fréquence du gel et *maximum* de dégâts concernent cette strate.

Les coups de froid tardifs peuvent se produire jusqu'en mai à l'Est de la ligne Romorantin - Sancerre - Sancoins (2). Mais, dans le domaine ainsi délimité, les destructions occasionnelles ont en général une localisation très précise : elles marquent une nette connexion avec les fonds de vallées humides, également avec les dolines assez vastes, surtout quand elles sont relativement profondes.

---

(1) - Nigond J., 1954 ; - Genevès L., 1955, - 1961 ; - Modlibowska J., 1961 ; - Durand R., 1961, - 1965 ; - Bouchet R.J., 1965 c ; - Bouchet R.J., Durand R., Tabard P., 1963 ; - Liegel W., 1965 ; - Aussenac G., 1968 b.

(2) - cf. "Relief et température", p. 60 sq.

## LE CLIMAT FORESTIER

C'est à l'égard des jeunes pousses que l'inversion matinale, qui n'a pas grande importance pour la végétation quand elle se produit en hiver, prend un caractère néfaste par sa fréquence au printemps.

### REMARQUES SUR LES EFFETS DU VENT:

Les chablis (1) sont le plus souvent épars, car le vent a peu de prise sur les peuplements fermés. Ils peuvent devenir nombreux sur les surfaces éclaircies par les coupes, ou dans le cas de coups de vent particulièrement brutaux: certains ont laissé le souvenir d'une action dévastatrice; les traces de celui de 1917 sont encore telles en 1934 en Forêt de Vincence (non loin de Châtillon-en-Bazois) qu'il faut alors en tenir compte dans la révision d'aménagement (2).

Dans cette même forêt, l'ouragan du 21 juin 1965 a permis une observation précise. L'orage, ou plutôt les orages, revêtent dans la région une gravité rare; les pluies sont diluviennes: 12 mm à Chou (Indre) en trois heures, 46 mm à Pellevoisin (Indre) en deux heures, 11 mm à Cuffy (Cher) en un quart d'heure; les chutes de grêle font des ravages: à Saint-Baudel (Cher), des " glaçons " atteignent 500 grammes, à la Machine et à Verneuil (Nièvre), 200 grammes.

Le phénomène de tornade qui se développe dans l'après-midi est lié au déplacement vers l'Est-Nord-Est d'une dépression

---

(1) - arbres déracinés, le plus souvent, ou cassés par le vent, parfois par la charge occasionnée par la neige ou le givre.

(2) - Clément, 1934.



## ACCIDENTS CLIMATIQUES

thermique marquée au sol par un thalweg, qui est enregistré vers 16 heures à Nevers, vers 17 heures (T.U.) à Château-Chinon.

Les mouvements tourbillonnaires d'une exceptionnelle violence s'inscrivent à grand fracas dans la forêt, saccagée par endroits à 80 %, où ils ouvrent une zone dévastée de trois kilomètres et demi de longueur sur une largeur qui varie de deux cents à douze cents mètres (Fig. 205, p. 274 et Pl. 3, photo 7). Apparemment une action canalisatrice a été exercée par les hauteurs de 300-310 m d'altitude. Les surfaces nues incluses dans le massif, petit étang du Buron, et surtout enclave des Pâtureaux, ont provoqué une exaspération de la violence des tourbillons.

Des accidents d'une telle gravité sont heureusement rares.

---

(1) - Dutartre F. et Rignot D., 1966.

CONCLUSION DU LIVRE PREMIER

CONCLUSION DU LIVRE PREMIER

Le Livre Premier n'avait pas pour objet une révision des schémas fondamentaux du climat, dans le cadre retenu pour l'étude des forêts. Des faits bien connus n'ont donc été évoqués que dans la mesure où leur étude fine préparait à l'approche biologique des paramètres classiques. Les recherches ont été délibérément orientées vers la définition des conditions susceptibles d'expliquer la structure des groupements végétaux divers reconnus dans la région, et d'éclairer les différences observées de part et d'autre de la Loire. Les conditions de l'enquête ne permettraient toutefois d'envisager que les aspects qualitatifs, non les aspects quantitatifs, de l'élaboration de la biomasse dans l'étendue de la région.

Les nécessités de l'exposé ont conduit à examiner successivement l'ambiance régionale et le climat particulier de la forêt, alors que les interactions sont multiples et permanentes. Au stade des conclusions se justifie de même la séparation des observations dont l'intérêt se situe dans une perspective régionale d'une part, et l'expression des concepts et des problèmes méthodologiques d'autre part.

Dans le cadre régional, parmi les faits qui ont été examinés, l'accent mérite d'être mis, inégalement, sur les points suivants:

## CONCLUSION DU LIVRE PREMIER

1 - L'infériorité thermique du Nivernais par rapport au Berry est une donnée climatique classique, dans son expression: rudesse un peu plus grande de l'hiver, chaleurs estivales plus modérées, fraîcheur nocturne, comme dans ses causes: altitude, effets thermiques des dépressions topographiques, action réfrigérante de la forêt en phénophase feuillée, incidences calorifiques de la nature des sols. L'importance du phénomène d'inversion et l'ampleur de l'abaissement de température lié à la transpiration des grands massifs boisés sont particulièrement à souligner.

Cet élément de dissymétrie Ouest-Est pèse sur la répartition des espèces et sur la nature des groupements végétaux. Mais la forêt surimpose son rythme thermique interne aux conditions régionales, qui règnent plus intensément sur les formations herbacées et les champs.

L'absence de différences marquées sur la durée de la saison de végétation, le synchronisme régional des phénophases d'activité, s'expliquent par le télescopage des conditions qui favorisent la levée de la dormance et de celles qui autorisent la fin de la quiescence. Si le cycle des pelouses s'achève généralement en Berry plus tôt qu'en Nivernais, c'est pour des raisons hydriques, non thermiques.

2 - Les données astronomiques et la situation par rapport aux trajectoires de perturbations justifient d'ailleurs une égalité approximative de l'ensemble de la région en ce qui concerne le rayonnement global incident. Plus que le léger avantage moyen du Nivernais, il y a lieu de retenir l'importance, connue

## CONCLUSION DU LIVRE PREMIER

mais un peu oubliée dans les pays de relief modeste, des influences topographiques, et la diversification des quantités de rayonnement pénétrant dans la biosphère, en fonction des inégalités d'albedo, d'une formation à l'autre, et aussi dans le cours de l'année

3 - C'est au chapitre de la couverture des besoins en eau et de son influence sur la photosynthèse par la régulation des échanges gazeux que les contrastes bioclimatiques ouest-est s'affirment avec le plus de vigueur.

Les faits sont clairs:

- partout les précipitations de "morte-saison" sont suffisantes pour que la réserve soit au voisinage du niveau de saturation au moment de l'"éveil" de la végétation, quelles que soient les caractéristiques des sols;

- durant l'été, l'opposition Berry-Nivernais se manifeste dans la pluviométrie plus abondante des collines orientales, dans l'humidité de l'air plus élevée, dans une évapotranspiration potentielle moins forte, et par conséquent un taux de couverture des besoins plus favorable; les fluctuations interannuelles ne modifient pas de manière importante ce schéma.

L'interprétation de ces données mérite prudence:

- les observations locales ne permettent pas de soutenir l'opinion selon laquelle la forêt serait cause d'un accroissement du volume des pluies. Une présomption en faveur d'une limitation des précipitations, dans des circonstances estivales combinant pluviosité et transpiration active, donc refroidissement efficace a même été exprimée;

## CONCLUSION DU LIVRE PREMIER

- par contre, le rôle de la forêt paraît bien établi dans le maintien d'une hygrométrie régionalement élevée, facteur de limitation de l'ETP; cette situation n'exclut pas, loin de là, que l'ETR puisse être plus élevée en Nivernais qu'en Berry;

- sans remettre en question les causes premières de la tendance à l'aridité de la Champagne berrichonne, dont Pédelaborde (1) a montré tout ce qu'elle doit aux effets de sol et à l'action du manteau végétal, il est indispensable d'envisager le rôle catalyseur des interventions anthropiques: chaque nouveau défrichement d'un canton forestier, -il y en a eu beaucoup dans les vingt dernières années-, est susceptible d'entraîner une petite péjoration climatique, intégrée dans un processus de capitalisation.

- à l'égard de l'ambiance interne de la forêt, l'interception nette n'empêche pas en hiver la reconstitution de la réserve du sol. En phénophase feuillée, elle ne devrait pas affecter sensiblement le bilan hydrique de la formation, dans la mesure où la quantité d'eau évaporée aussitôt à partir des frondaisons intervient comme facteur de réduction partielle de la transpiration simultanée; il reste que les strates inférieures se développent dans des conditions originales, leurs besoins étant restreints par l'amoindrissement du *quantum* d'énergie disponible à ces étages, et par le maintien de l'humidité relative à une valeur plus élevée qu'en terrain découvert.

---

(1) - Pédelaborde P., 1957.

## CONCLUSION DU LIVRE PREMIER

Aux plans des concepts et de la méthodologie, le Livre Premier a permis d'exprimer deux orientations qui sont apparues indispensables à la définition biologique du climat:

- une première option a été d'accorder une juste part aux aspects énergétiques, en ne se contentant pas de les suivre à travers leur traduction thermométrique classique. La référence aux moyennes de température paraissait tout à fait impropre à la définition des nuances intra-régionales; le recours aux températures vraies, suivies dans des situations concrètes, s'est révélé souvent très démonstratif. Des éclairages différents ont été apportés par l'utilisation des "Sommes de températures" et des "Sommes de  $Q_{10}$ "; mais des repères autres que ceux qui sont fournis par des plantes cultivées sont très souhaitables; enfin on a choisi d'étudier le problème des besoins en eau de la végétation selon la méthode de la balance d'énergie.

- la place de choix accordée à la définition des bilans hydriques peut surprendre, à la fois par le volume qui a été réservé à cette analyse et par la méthode suivie, laquelle semble *a priori* porter condamnation du concept d'ETP pour les études précises à échelle fine, au profit de la notion d'ETR.

Cette manière d'opérer prête le flanc à de nombreuses critiques, notamment à cause du grand nombre d'options empiriques auxquelles elle contraint; il est souhaitable que ces choix comportant une part d'arbitraire, inévitables au stade pionnier de la recherche, soient progressivement éliminés.

Dans l'optique géographique, il a semblé indispensable de tenir compte des acquisitions sur l'évolution de l'humidité du

## CONCLUSION DU LIVRE PREMIER

sol pour apprécier aussi correctement que possible la couverture des besoins en eau de la végétation. La primauté accordée à l'évapotranspiration réelle ne conduit d'ailleurs nullement à ignorer l'évapotranspiration potentielle, ou à en minimiser l'importance. Il s'agit seulement de placer l'approche de l'économie de l'eau dans la réalité des structures de la biosphère, au lieu de s'en tenir à l'évaluation d'une demande climatique, dont on oublierait volontiers qu'elle est sous la dépendance des quantités effectivement consommées.

La considération de l'ETR a en outre, dans son évolution annuelle, l'avantage de définir simultanément les conditions des échanges gazeux au niveau de la feuille, donc de constituer une étape dans la recherche des vitesses d'élaboration de la biomasse. On regrette naturellement que la méthode doive se contenter de modèles de sols nécessairement un peu flous, et qu'elle comporte des calculs, perfectibles, qui demeurent rébarbatifs..., tant qu'ils n'ont pas été confiés à l'ordinateur.

Il paraît possible, au prix de l'équipement des stations du réseau secondaire de la Météorologie Nationale en tubes de Piche, et de la reconnaissance sommaire de la répartition des sols classés d'après leurs caractéristiques hydriques, d'aboutir rapidement à l'élaboration d'une carte, de précision analogue à celle des cartes pluviométriques : ce pourrait être, au choix, une représentation du risque de sécheresse, qui ne serait pas un simple négatif de la carte des pluies, ou une image de la répartition de la consommation, localisant les régions les plus favorables à la production végétale.











